

UCH-FC
Q. Ambiental
P426
C.2

DETERMINACION DE AMONIACO EN EL SISTEMA AMBIENTAL DEL RIO MAPOCHO



SEMINARIO DE TITULO

Entregado a la

Facultad de Ciencias de la Universidad de Chile

En cumplimiento parcial de los requisitos

para optar al título de

QUIMICO AMBIENTAL

Camila Cecilia Peralta Reyes

Director Seminario de Título: Dr. Italo Serey Estay.
Co-Director: Sra. María Rosa González

Julio, 2005

Facultad de Ciencias
Universidad de Chile

INFORME DE APROBACIÓN
MEMORIA DE TITULO

Se informa a la escuela de Pre-grado de la Facultad de Ciencias, Universidad de Chile que el Seminario de Título presentado por la alumna:

CAMILA CECILIA PERALTA REYES

Ha sido aprobada por la Comisión de Evaluación de la Memoria de Título como requisito para optar al Título de Químico Ambiental.

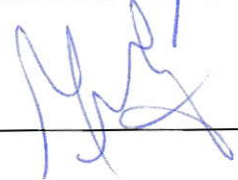
Director de Memoria de Título.

Dr. Italo Serey E.



Co-Directora.

Sra. María Rosa González.



Comisión de Evaluación de la Memoria de Título.

Dr. Raúl Morales S.



Dr. Manuel Contreras L.

...Gracias a la vida que me ha dado tanto.

Me dio el corazón que agita su marco
cuando miro el fruto del cerebro humano;
cuando miro al bueno tan lejos del malo,
cuando miro el fondo de tus ojos claros....

...Gracias a la vida que me ha dado tanto.

Me ha dado la risa y me ha dado el llanto.

Así yo distingo dicha de quebranto,
los dos materiales que forman mi canto....

Violeta Parra

AGRADECIMIENTOS

Son muchas personas que de alguna u otra forma han estado a mi lado, acompañándome físicamente o con su alma. Le doy gracias en primer lugar a mi familia, a mi Mami que me ayuda y me cuida siempre y me ha entregado todo su cariño y muchas cosas más. De ella he aprendido la perseverancia, sin la cual no habría llegado al final de esta parte del camino... a mi papá que me enseñó a sentir la vida con una sensibilidad maravillosa y a verla con otros ojos, a ser una mujer distinta sin tener miedo a serlo. A mi hermano, Gonzalo, por estar siempre a mi lado, por tu cariño y todo. A mi hermana chica, Valentina, mi amiga, gracias por tu compañía... y por compartir el mismo humor. A la lulo, mi abuela, gracias por tu apoyo y tus buenos deseos para mí, que bueno que sigas a mi lado.

A mis suegros, Marianela y José, que me han ayudado infinidad de veces y comprendido, que han entregado su amor incondicional a mi niño, José Vicente.

A mi amiga Angela Tapia, gracias por todo, tu amistad, tu ayuda, tu compañía. Y todo lo vivido. No puedo dejar de agradecer a su familia Tío Lucho, Tía Angela, Javi y Maca que los quiero mucho y son todos mis amigos también gracias, de todo corazón.

A mi amiga Sandra, por tus consejos y todo lo que hemos vivido juntas, por tu amistad de tantos años y por todo, gracias. Al Flaco por su ayuda, a Lucas y a la niña que está por llegar...

A José por tu amor, tu entrega, tu paciencia, tu humor y tus ganas de vivir, tu compañía por todo el largo camino que hemos recorrido juntos y tu amistad. Tu sabes muy bien que nada ha sido fácil, pero la lucha y los buenos momentos... el amor es lo más importante en la vida. Te amo.

A mi niño, José Vicente, Vichito, que te quiero con toda mi alma que has sido mi compañero incondicional, que me has enseñado tanto y que me haces querer luchar por ser mejor todos los días sin ti no sé que sería. A tí y al Papá les dedico todo este largo trabajo, los quiero.

A María Rosa, por su enseñanza y mi guía en este trabajo, no sólo en lo científico, sino en lo más importante, lo humano. Por su paciencia, por su compañía en los largos muestreos en los lugares más recónditos del río Mapocho, muchas gracias. Al Centro de Química Ambiental, a Manuel Leiva y a Patricio Jara por su gran voluntad. A Sandra Claros por su paciencia y ayuda.

Al profesor Italo Serey, por su enseñanza desde otra perspectiva científica, por el tiempo entregado, pero por sobre todo por haberme dado esta linda oportunidad para aprender. Al Profesor Manuel Contreras por su ayuda, buena disposición y su forma de enfocar la Ciencia Ambiental.

A todos los profesores que me han enseñado, desde el colegio hasta ahora, y a los que me apoyaron y creyeron que sería capaz de ser un Químico Ambiental, a la Profesora Sylvia Copaja por haberme dado otra oportunidad y en especial al

Profesor Raúl Morales por su ayuda al sugerir este trabajo. A los profesores Italo Serey y Manuel Contreras por el apoyo intelectual durante todo el desarrollo de éste.

Creo que hay mucha gente más.... mis amigos....y en fin... a todos los que me han hecho ser lo que soy. Gracias.

INDICE DE CONTENIDO

	Página
LISTA DE TABLAS.	<i>xi</i>
LISTA DE FIGURAS.	<i>xiii</i>
LISTA DE ABREVIATURAS.	<i>xvi</i>
RESUMEN.	<i>xvii</i>
ABSTRACT.	<i>xix</i>
INTRODUCCIÓN.	1
1. Introducción General	1
1.1 Antecedentes Generales	4
2. Ciclo del Nitrógeno	6
2.1 Aproximación Ecosistémica	6
2.2 Aproximación Química	8
i) Biofijación y Amonificación	9
ii) Nitrificación	10
iii) Asimilación y Desnitrificación	11
2.3 Ciclo del Nitrógeno en un río	12
3. Flujo de Amoniaco en el Ecosistema	15
4. Amoniaco: <i>Propiedades Físico-químicas que determinan el intercambio Columna de Agua-Atmósfera</i>	16
4.1 Características Generales del Amoniaco	16
4.2 Potencial Redox	18
4.3 Influencia del pH	18
4.4 Efecto de la Temperatura en el Equilibrio amoniaco/ ión amonio	20
5. Amoniaco como contaminante en la atmósfera	21
6. Equilibrio $\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$ e intercambio Columna de Agua-Atmósfera	24
6.1 Determinación de la Constante de Henry en el sistema de estudio	25
6.1.1 Dependencia de la Temperatura	26

7. Características Generales del Sistema Río Mapocho	27
7.1 Características Geológicas	27
7.2 Características Hidrológicas	27
7.3 Características Físico-químicas del Río Mapocho	29
7.3.1 pH	29
7.3.1.1 Ciclo diario de pH	30
7.3.2 Temperatura	31
7.3.3 Conductividad	31
7.3.4 DBO y DQO	32
8. Técnica de Análisis	34
8.1 Teoría del muestreo pasivo	34
8.2 Descripción del muestreador OGAWA PSD	37
8.2.1 Revestimiento de los PDS	38
8.3 Otros estudios realizados con muestreadores OGAWA PSD	39
8.4 Ventajas y desventajas de muestreador OGAWA	39
8.5 Otros métodos de determinación de NH ₃ atmosférico	40
9. Fundamentos de la Metodología de Análisis	41
9.1 Reacciones del Método	41
9.2 Interferencias	42
HIPÓTESIS.	43
OBJETIVOS.	44
1. Objetivo General	44
2. Objetivo Específico	44
MATERIALES Y MÉTODOS.	45
1. Área de estudio y muestreo	45
1.1 Diseño del Muestreo	45
1.2 Características Estructurales y Morfológicas	47
1.2.1 Sector Norte desde Lomas de Lo Aguirre a Puente Rinconada de Maipú	47
1.2.2 Sector Rinconada de Maipú hasta El Trebal	47
2. Muestreo	49
2.1 Diseño	49
2.2 Muestreo en la Columna de Agua	50

2.3 Método de muestreo	50
2.4 Muestreo Atmosférico	51
3 Materiales	51
3.1 Muestreo atmosférico	51
3.2 Extracción y cuantificación de NH_3 de los filtros y en las muestras de agua	52
3.3 Preparación de Reactivos	53
4. Procedimiento Analítico	55
4.1 Muestras de Agua	55
4.1.1 Preparación de estándares	56
4.2 Muestras Atmosféricas	58
4.2.1 Protocolo de Lavado de Filtros	58
4.2.2 Protocolo de Lavado de Componentes	59
4.2.3 Preparación de estándares	59
5. Análisis Estadístico	60
RESULTADOS.	62
1. Validación del Método Instrumental	62
1.1 Curva de Calibración para muestras de Agua	62
1.2 Curva de Calibración para muestras Atmosféricas	63
1.3 Límite de Detección	63
1.4 Sensibilidad	63
2. Concentración de NH_3 atmosférico medido y calculado, NH_4^+ medido y NH_3 calculado en la Columna de Agua	66
3. Interacción estación, fecha y componentes	70
4. Análisis de Varianza y Aplicación de Prueba de Tuckey	72
5. Concentración de NH_3 medida en los filtros	77
6. Resultados de otros trabajos	78
7. Determinación de NH_3 atmosférico en distintos puntos de la ciudad de Santiago	80
8. Estudios utilizados para comparar este trabajo	81

DISCUSIÓN.	83
1. Aproximación General	83
2. Condición Ambiental del río Mapocho	86
3. Evaluación del Método de Muestreo	87
3.1 Aspectos metodológicos	88
4. Emisiones de Amoniaco a la Atmósfera	89
5. Comparación de resultados experimentales de NH ₃ con otros estudios	94
CONCLUSIÓN.	97
Perspectivas de Gestión Ambiental	100
BIBLIOGRAFÍA.	101

ANEXOS

	Página
ANEXO A Valores de concentración de NH_3 atmosférico, medidas mediante tubos pasivos, Concentración de NH_4^+ y variables fisicoquímicas medida en la columna de agua.	106
ANEXO B Concentraciones analíticas de la columna de agua, cálculo de la constante de equilibrio según las condiciones del sistema y estimación de NH_3 presente en la columna de agua mediante el uso de la constante de Henry.	112
ANEXO C Concentración de NH_3 atmosférico que es emitido desde la columna de agua, calculado a partir de la constante de Henry.	119
ANEXO D Orígenes de las distintas especies que participan en el ciclo del Nitrógeno.	121
ANEXO E Métodos de muestreo atmosférico	123
ANEXO F Análisis Cualitativo	127
ANEXO G Ubicación de estaciones en Estudio de Impacto de la Planta de Tratamiento La Farfana	129
ANEXO H Proposición de normas de calidad ambiental de aguas y Definición de clases de agua según su calidad	130
ANEXO I Valores referenciales de concentración de NH_3 en ambientes de trabajo	131

LISTA DE TABLAS

		Página
Tabla 1.	Coeficientes de difusión para el amoníaco. Ammonia sampling using Ogawa passive samplers. Recopilación de datos	36
Tabla 2.	Muestreo Ecológico.	49
Tabla 3.	Muestreo Analítico para muestras de agua	49
Tabla 4.	Muestreo Analítico para muestras atmosféricas	49
Tabla 5.	Volúmenes para la preparación de estándares para muestras de agua.	57
Tabla 6.	Volúmenes para la preparación de estándares para muestras de aire.	60
Tabla 7.	Repeticiones de estándar de ión amonio de 1ppm de concentración.	64
Tabla 8.	Concentraciones promedios ambientales y calculadas de amoniaco atmosférico y en la columna de agua y concentración de ión amonio en la columna de agua, por estación y fecha.	67
Tabla 9.	Medía total de amoniaco (ppb) calculado a partir de las condiciones fisicoquímicas de la columna de agua por estación y fecha.	70
Tabla 10.	Medía total de amoniaco (ppb) en cada componente. Fecha 1 (13/09/04), Fecha 2 (20/09/04), Fecha 3 (04/10/04).	70
Tabla 11.	Medias y desviaciones estándar de amoniaco (ppb) por estación de componente aire.	71
Tabla 12.	Medias y desviaciones estándar de amoniaco (ppb) por estación de componente agua	71

Tabla 13	Análisis de Varianza para todas las variables: estación, fecha y componente.	73
Tabla 14.	Prueba de Tuckey para interacción entre fechas para la variable concentración de amoniaco.	74
Tabla 15.	Prueba de Tuckey para la interacción fecha-componente.	75
Tabla 16.	Prueba de Tuckey para la interacción estación-fecha.	76
Tabla 17.	Medidas de concentraciones de amoniaco en otros trabajos. Extraída de "Monitoreo Pasivo de Amoniaco en la Región Metropolitana"	78
Tabla 18.	Muestreo pasivo de amoniaco realizado en "Monitoreo Pasivo de Amoniaco en la Región Metropolitana".	79
Tabla 19.	Media y error de la concentración de amoniaco calculada para los valores determinados en la ciudad de Santiago "Monitoreo Pasivo en la Región Metropolitana"	80
Tabla 20.	Muestreo en la ciudad de Santiago. Julio 2004.	80
Tabla 21.	Media y error de las concentraciones de amoniaco determinadas en Muestreo de la Ciudad de Santiago.	81
Tabla 22.	Concentraciones de amoniaco e ión amonio medidas en la bahía de Chaesapeake.	81
Tabla 23.	Mediciones realizadas por ANAM. Junio 2003. En el sector Poniente del Río Mapocho.	82

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Modelo simplificado de las interacciones más importantes de la columna de agua que determinan, por una parte, la formación de la especie amoniaco y por otra parte, la salida de ésta hacia la atmósfera.	3
Figura 2. Ciclo del Nitrógeno de un río no contaminado. Componentes ecosistémicos y procesos químicos.	7
Figura 3. Ciclo del nitrógeno, en términos de las especies, procesos químicos más importantes y componentes del sistema en estudio.	9
Figura 4. Clasificación de la Materia Orgánica Disuelta.	14
Figura 5. Intercambio Amoniaco en el sistema.	15
Figura 6. Recopilación de datos de caudales medios en la estación Rinconada de Maipú entre los años 1976-1998.	28
Figura 7. pH medido en rangos de 1 hora en la estación de La Farfana en Diciembre del 2003 comparados con datos entregados por Aguas Andinas para la misma estación, fecha y rango horario.	30
Figura 8. Conductividad eléctrica medida en varias estaciones de la zona poniente del río desde El Puente Mapocho hasta su unión con el río Maipo, durante el periodo abril-junio 2003.	31
Figura 9. Demanda Biológica de Oxígeno, medida en varias estaciones de la zona poniente del río desde El Puente Mapocho hasta su unión con el río Maipo durante el periodo abril-junio 2003.	32
Figura 10. Demanda Química de Oxígeno, medida en varias estaciones de la zona poniente del río desde El Puente Mapocho hasta su unión con el río Maipo durante el periodo abril-junio 2003.	33
Figura 11. Componentes de un tubo OGAWA PSD.	38
Figura 12. Instalación de tubos pasivos.	39

Figura 13.	Primera etapa, formación de monocloramina.	41
Figura 14.	Segunda etapa. Formación de cloramina quinona y azul de indofenol.	42
Figura 15.	Área de estudio.	46
Figura 16.	Fotografía del entorno del río Mapocho estación Pudahuel y Lomas de Lo Aguirre.	47
Figura 17.	Fotografía del entorno del río Mapocho en la estación La Farfana.	48
Figura 18.	Procedimiento analítico para muestras de agua.	55
Figura 19.	Procedimiento analítico para muestras de aire.	58
Figura 20.	Curva de calibración para muestras de agua.	62
Figura 21.	Curva de calibración para muestras atmosféricas.	63
Figura 22.	Comparación entre el modelo estático (valores calculados) y los valores medidos en el sistema en la columna de agua, muestreo 13/09/04.	68
Figura 23.	Comparación de concentraciones de NH_3 atmosférico medido y calculado, muestreo 20/09/04.	69
Figura 24.	Comparación de concentraciones de NH_3 atmosférico medido y calculado, muestreo 04/10/04.	69
Figura 25.	Concentración ambiental de NH_3 . Tubos pasivos. Muestreo 13/09/04.	77
Figura 26.	Concentración ambiental de NH_3 . Tubos pasivos. Muestreo 20/09/04.	77
Figura 27.	Concentración ambiental de NH_3 . Tubos pasivos. Muestreo 04/10/04.	78
Figura 28.	Escalas espacio-tiempo en que ocurren los distintos fenómenos de este estudio.	85

Figura 29. Modelo ideal del sistema utilizado para el cálculo de NH_3 en la columna de agua y posteriormente en la atmósfera.

92

LISTA DE ABREVIATURAS

RILes	Residuos Líquidos Industriales.
DBO	Demanda Biológica de Oxígeno.
DQO	Demanda Química de Oxígeno.
DON	Nitrógeno Orgánico Disuelto.
DOM	Materia Orgánica Disuelta.
Da	Daltons
DBP	Desinfección por productos.
DGA	Dirección General de Aguas.
PSD	Passive Sampling Device.
ANOVA	Análisis de Varianza.
F	Valor de Fisher

RESUMEN

Insertado en la misma ciudad de Santiago, el río Mapocho, está recibiendo continuamente un exceso de nutrientes provenientes de descargas de aguas servidas, que aún cuando una parte de ellas está siendo tratadas, se observan zonas de alta contaminación de sus aguas y malos olores en las zonas aledañas al río.

Para estudiar los efectos de la materia orgánica en el río, se realizó este trabajo enfocado bajo una perspectiva química, analizando una especie nitrogenada en particular, el amoníaco y su presencia e interacción entre la columna de agua y la atmósfera local. Además el estudio tiene un alcance tanto ecosistémico como ambiental, ya que se trabajó a nivel de componentes (columna de agua y atmósfera local) y también en función del rol y los efectos que produce esta especie en cada uno de ellos.

Se determinaron las principales variables que afectan el flujo de amoníaco desde la columna de agua a la atmósfera de la zona de estudio, mediante la construcción de un modelo del sistema, en el que variables como: naturaleza geológica del sistema, cantidad de materia orgánica, geomorfología del área, turbulencia, pH, conductividad y oxígeno disuelto, se definieron como determinantes para el flujo en estudio.

Se eligieron cuatro estaciones ubicadas en la zona sur-poniente del río Mapocho, entre el Puente Pudahuel en el límite norte y el sector de Rinconada de Maipú en el límite sur.

Las muestras de la columna de agua fueron extraídas y analizadas *ex-situ* en el laboratorio, mediante el método colorimétrico de formación del compuesto azul de indofenol y la determinación de amoníaco por Espectroscopia de Absorción Ultravioleta durante el mismo día.

Las muestras de aire se obtuvieron mediante la utilización de 2 tubos pasivos OGAWA, provistos de 2 filtros tratados con ácido fosfórico cada uno y un blanco formado

por un tubo con 2 filtros, para cada estación. Los tubos fueron colocados en cada estación durante 1 semana, en un periodo total de un mes. Se realizaba la extracción de amoniaco de los filtros semanalmente en el laboratorio y su cuantificación mediante el mismo método utilizado con las muestras de agua.

El río Mapocho, en la zona de estudio, tiene un comportamiento homogéneo en cuanto a pH, conductividad, temperatura y tipo de flujo. La concentración total de amoniaco en ambos componentes tuvo sus máximos en las estaciones la Farfana y Rinconada de Maipú.

Por esta razón, se puede considerar que el río Mapocho es una de las fuentes principales de amoniaco en la zona, debido a la cantidad de materia orgánica que posee el sistema en estudio y que es degradada, junto con las condiciones propias del sistema que favorecen su emisión.

ABSTRACT

Inside Santiago city, the Mapocho River, is continually receiving an excess of nutrients that come from of waste water discharges. Even though a part of these waste waters is being treated, there are high zones of pollution in the water and bad smell in zones next to the river.

In order to study the effects of the organic material in the river, this work was made focused under a chemical perspective, analyzing a nitrogenated species in particular, the ammonia and its presence and interaction with the water column and the local atmosphere. The study also has an ecosystemic and environmental view, because it was worked at components level (water column and local atmosphere) and also on its role and effects this species produces in each one of them.

The principal variables that affect the ammonia flux from the water column to the atmosphere of the study zone were determined through the construction of a model of the system in which variables such as : geologic nature of the system, amount of organic material, geomorphology of the area, turbulence, pH, conductivity and dissolved oxygen were defined as determinants for the flux of the study.

Four places were chosen in the south-west of the Mapocho River, between Pudahuel Bridge and the north limit and the zone of Rinconada de Maipú in the south limit.

The samples of the the water column were taken and analyzed ex-situ in the laboratory, through the colorimetric formation of the blue component of indophenol method and the determination of ammonia by Ultraviolet Absorción Spectroscopy during the same day

The air samples were obtained by the use of two passive OGAWA tubes with two filters each one treated with phosphoric acid and one blank formed by a tube and two filters for each work place. The tubes were placed in each work place for a week, for a

total period of a month. Weekly the ammonia was extracted from the filters in the laboratory and it was quantified by the same method used with the water samples.

The Mapocho River in the study zone, a homogenic behavior in pH terms, conductivity, temperature and type of flux. The total concentration of ammonia in both components reached its highest in the La Farfana and Rinconada de Maipú work places.

Due to these reasons, we can consider that the Mapocho River is one of the main sources of ammonia in the zone, due to the amount of organic material that the system in study possesses and that is degraded together with the system own conditions that help their emission.

INTRODUCCIÓN

1. Introducción General

La ciudad de Santiago concentra la mayor cantidad de población de todo el país, a lo que se asocia el desarrollo de una gran cantidad y diversidad de actividades que implican el asentamiento de una población que muchas veces sobrepasa las propias capacidades de la ciudad para sostenerla, por esta razón, a la par con el desarrollo el ambiente se ha visto deteriorado, afectando aguas, suelos y aire.

Insertado en la ciudad misma, el río Mapocho, en su trayecto desde el sector cordillerano hasta su unión con el río Maipo en el sector oeste de la capital, recibe la descarga de aguas servidas de gran parte de la población. Bajo estas condiciones la materia orgánica es el principal componente de las descargas, lo que se traduce en un ingreso excesivo de nutrientes, entre ellos Carbono, Nitrógeno y Fósforo, que el sistema no es capaz de procesar sin que generen efectos ambientales negativos. La gran cantidad de materia orgánica disponible favorece condiciones anóxicas en gran parte del curso del río debido al elevado consumo de oxígeno por parte de los microorganismos y produce malos olores que impactan en la población humana. Las aguas residuales llevan una gran cantidad de microorganismos entre los que pueden haber elevado número de patógenos.

También puede existir contaminación por compuestos químicos tóxicos o inhibidores de otros seres vivos, provenientes de distintas actividades industriales y mineras. En el borde del río también son descargados residuos sólidos, entre los que se encuentran escombros de construcción, materiales plásticos, restos de textiles y de artefactos manufacturados de diversa clase, que son arrastrados por las aguas hacia las partes bajas y que se depositan a lo largo de la ribera o son arrastrados

hasta el mar. Los malos olores que se perciben en la vecindad del río, son producidos por gases tales como el amoníaco, sulfuros y otros compuestos volátiles, producto de la degradación anaeróbica de la materia orgánica. Desde el punto de vista ecosistémico, esos gases, forman parte del reciclado de materiales en un río bajo condiciones anaeróbicas. La columna de agua y el sedimento son los componentes donde ocurre el proceso de descomposición y la atmósfera local en contacto con el agua es el componente hacia donde fluyen los gases y desde donde son dispersados. Todos flujos de materiales entre componentes ocurren por procesos físicos, químicos o biológicos. El amoníaco que ingresa a la atmósfera es producto de la actividad de los microorganismos, es una de las especies químicas del ciclo del nitrógeno, y una de las formas en que el nitrógeno puede formar parte de la atmósfera. Desde el punto de vista químico, el flujo de amoníaco pasa desde el agua a la atmósfera producto de una serie de factores, propios de la naturaleza físico-química de los componentes ecosistémicos columna de agua y atmósfera local.

Bajo la perspectiva ambiental, los malos olores son un problema que afecta a población humana, pero estos gases también son tóxicos y pueden reaccionar en la atmósfera y producir otros compuestos que también causan efectos nocivos para la salud de la población (Saralegni, 2002), como la formación de nitrato de amonio y otras sales (Ríos, 2003). Por otra parte las aguas al encontrarse contaminadas, afectan la biota y las capacidades propias del sistema de autodepurarse, esto trae como consecuencias la limitación del uso que se pueden dar a las aguas y la probable contaminación de las aguas subterráneas que están conectadas al sistema (Ibe y col, 1999).

Este trabajo se enfoca principalmente en el estudio de una especie química en particular, el amoníaco, en dos componentes ambientales de interés, la columna de agua y la atmósfera local. En la primera, la dinámica del amoníaco se encuentra bajo la influencia de variables fisicoquímicas como temperatura, pH, presencia de iones e interacción con los sedimentos, que determinan su formación, transformación y mecanismos de salida (Figura 1). Por esta razón, su estudio es de vital importancia para comprender al sistema adecuada y satisfactoriamente.

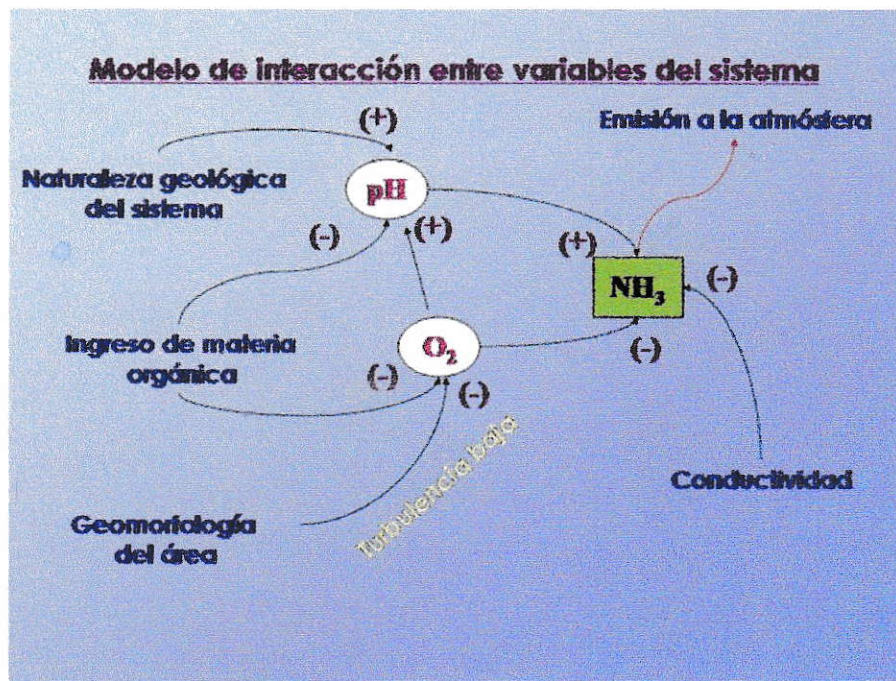


Figura 1. Modelo simplificado de las interacciones más importantes de la columna de agua que determinan, por una parte, la formación de la especie NH₃ y por otra parte, la salida de ésta hacia la atmósfera.

Para el componente atmosférico, las variables fundamentales que pueden determinar los niveles de concentraciones de amoníaco son de tipo meteorológico, como por ejemplo dirección y velocidad del viento, precipitaciones y temperatura

ambiental, entre otras, las que afectan el transporte, movilidad y dilución o concentración de contaminantes siendo necesario un estudio sistemático de ellos.

Estudios realizados en Pudahuel, en la zona en que se centró el trabajo, han determinado que esta comuna ocupa un 3,6% del área urbana total de la región. En análisis realizados sobre los iones presentes en la atmósfera de Pudahuel, el amonio es el catión que se encuentra en mayor proporción, a concentraciones por sobre 1,2 $\mu\text{g} / \text{m}^3$ en días de emergencia, desconociéndose su fuente (Ríos, 2003), en cuanto a la contaminación atmosférica existente, comúnmente está por encima del resto de las estaciones (CONAMA RM, 2003).

El problema central es evaluar por una parte, si las emisiones de amoniaco desde la superficie de la columna de agua a la atmósfera local son significativas y si las condiciones específicas dentro del área de estudio son homogéneas que permitan ser consideradas como una unidad. Esto requiere formular algunas preguntas como las siguientes: (i) ¿Cuál es el efecto de la estación con respecto a la concentración de NH_3 encontrada en ambos componentes? (ii) ¿Existen variaciones de estas concentraciones en el tiempo? (iii) ¿Existe relación entre las cantidades de NH_3 presente en ambos componentes?

1.1 Antecedentes Generales

Los estudios de amoniaco hacia la atmósfera se han realizado esencialmente desde el punto de vista agrícola, donde se evalúa la volatilización desde el suelo (Barbieri y col, 2003, Svensson, 1994), o bien su depositación debido a estas actividades (Oyarzún y col, 2002), (Usama y col, 1999). En cambio los estudios desde cuerpos de aguas son escasos y es difícil obtener información sobre estudios en ríos.

Desde el punto de vista de la producción primaria, los nutrientes y materiales inorgánicos son necesarios para la vida y cuando se encuentran en niveles muy bajos son limitantes para la actividad biológica y para la productividad del río como ecosistema. Además participan en una serie de procesos abióticos, de tipo físico químico.

En este aspecto, el fósforo y el nitrógeno son vitales para estimular la producción primaria, su dinámica junto con la de otros materiales presentes en la columna de agua dependen del transporte en ella, de todas las posibles transferencias que puedan ocurrir a través de ella y también se relacionan con la física del movimiento y la pendiente.

En los ríos, donde existe un desplazamiento de la columna de agua, en forma unidireccional determina hechos especiales en el funcionamiento de los ciclos biogeoquímicos. Los materiales generados en un punto del sistema, son desplazados a otros, de modo que pueden ser reutilizados en otro punto. En ecología de ríos se han propuestos esos modelos como el espiralamiento del carbono y la idea del río continuo (river continuum). También existen flujos unidireccionales que otorgan características inusuales a los ciclos de nutrientes. Los nutrientes generados en un punto son transportados y re-utilizados, de esta forma se establece una relación entre el ciclo de nutrientes y su transporte en el avance de las aguas (Webster y Patten, 1979).

En el estudio de la salida de amoníaco hacia la atmósfera, las variables más importantes son: la concentración de ión amonio en la columna de agua, temperatura, pH, conductividad, velocidad y dirección del viento, tipo de flujo (laminar o turbulento) y en estudios de mayor complejidad la concentración de amoníaco en la capa de aire

contigua a la superficie del agua y la depositación seca y húmeda de esta especie sobre ella (Randolph y col, 2001).

2. Ciclo del Nitrógeno

2.1 Aproximación Ecosistémica

El nitrógeno se encuentra en el agua en forma elemental (N_2), formas orgánicas (aminoácidos, proteínas y compuestos húmicos refractarios) y en formas inorgánicas (nitratos NO_3^- , nitritos NO_2^- , amonio NH_4^+). El nitrógeno gaseoso debe ser fijado por un sistema biológico en el agua (algas cianofíceas y bacterias), produciéndose un máximo de fijación al mediodía con la máxima radiación, por esta razón en invierno se reduce este proceso. En sistemas no contaminados, la especie nitrogenada predominante es el nitrato. En la figura 2 se observan los componentes ecosistémicos de un río no contaminado que participan en los distintos procesos químicos que abarca el ciclo del nitrógeno. Además es posible observar las distintas especies químicas que interactúan en dichos procesos. Las características del sistema están dadas fundamentalmente por la presencia o ausencia de oxígeno, se observa que a medida que se avanza en la profundidad de la columna de agua, menor es la concentración de oxígeno presente, estas son las condiciones que favorecen los procesos de descomposición y posterior formación de amoniaco o ión amonio. En el río Mapocho el requerimiento de oxígeno de los procesos biológicos de descomposición indican que la DBO y DQO determinan condiciones anaeróbicas, debido a que la actividad de los propios organismos es determinante en algunas condiciones físico-químicas del sistema.

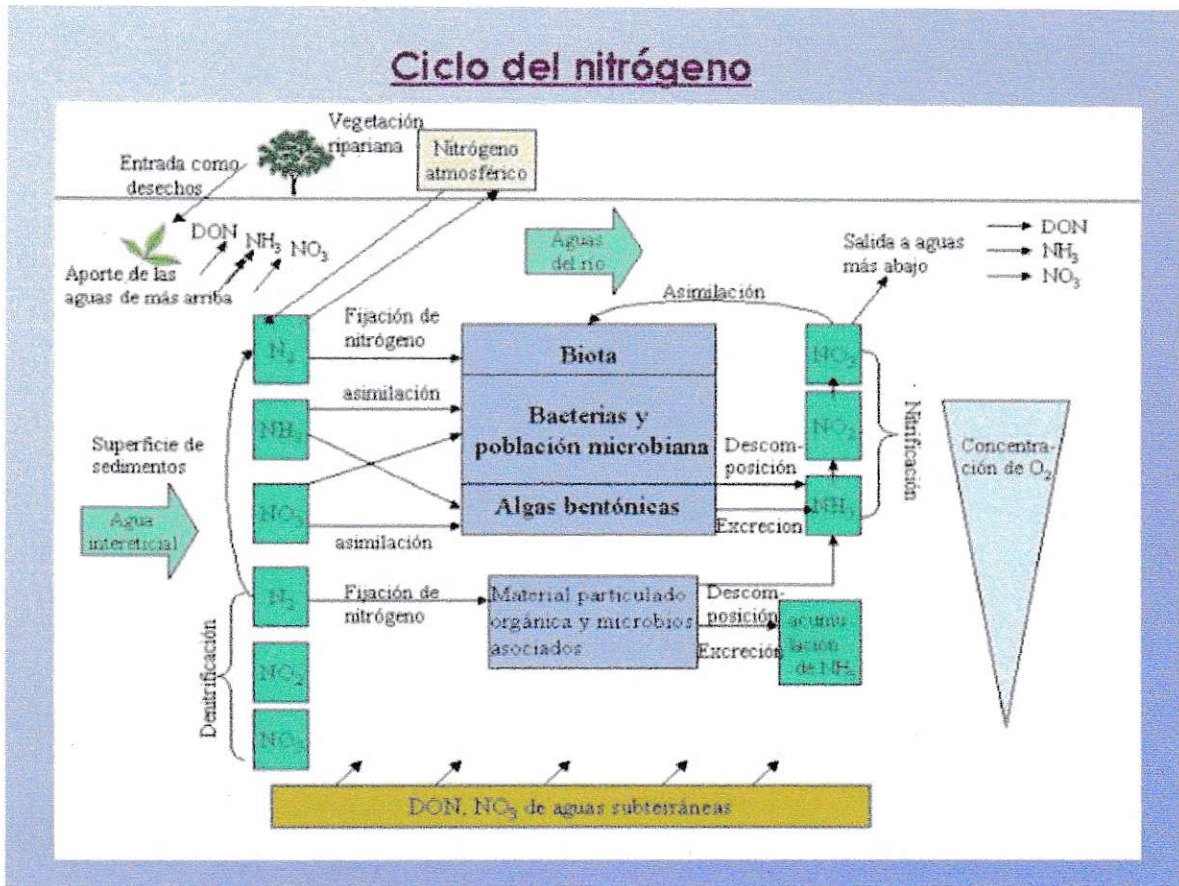


Figura 2. Ciclo del Nitrógeno de un río no contaminado. Componentes ecosistémicos y procesos químicos. Los componentes están indicados como cajas o rectángulos. Los procesos por las flechas. Modificado de Stream Ecology Structure and function of running waters (Allan y col, 1995).

Los procesos que incorporan nitrógeno a la columna de agua son:

- Precipitación, que cae directamente en el cuerpo de agua. Este contenido es muy variable ya que depende de las condiciones meteorológicas, vientos, ubicación respecto a focos industriales o de actividad agrícola.
- Fijación de nitrógeno en aguas y sedimentos.
- Flujo desde aguas subterráneas hacia la superficie.

Los procesos de salidas de nitrógeno desde la columna de agua se producen por flujos de salida del efluente, reducción de nitrato a nitrógeno elemental por desnitrificación de bacterias, con el subsiguiente retorno de este último a la atmósfera y sedimentación de compuestos orgánicos e inorgánicos.

2.2 Aproximación Química

Para comprender el flujo de amoníaco desde la columna de agua a la atmósfera, se seguirá una aproximación química basada en los procesos de óxido-reducción, de esta forma a continuación se hace una síntesis de los principales procesos que llevan a las distintas especies químicas, mediadas por organismos

Figura 3.

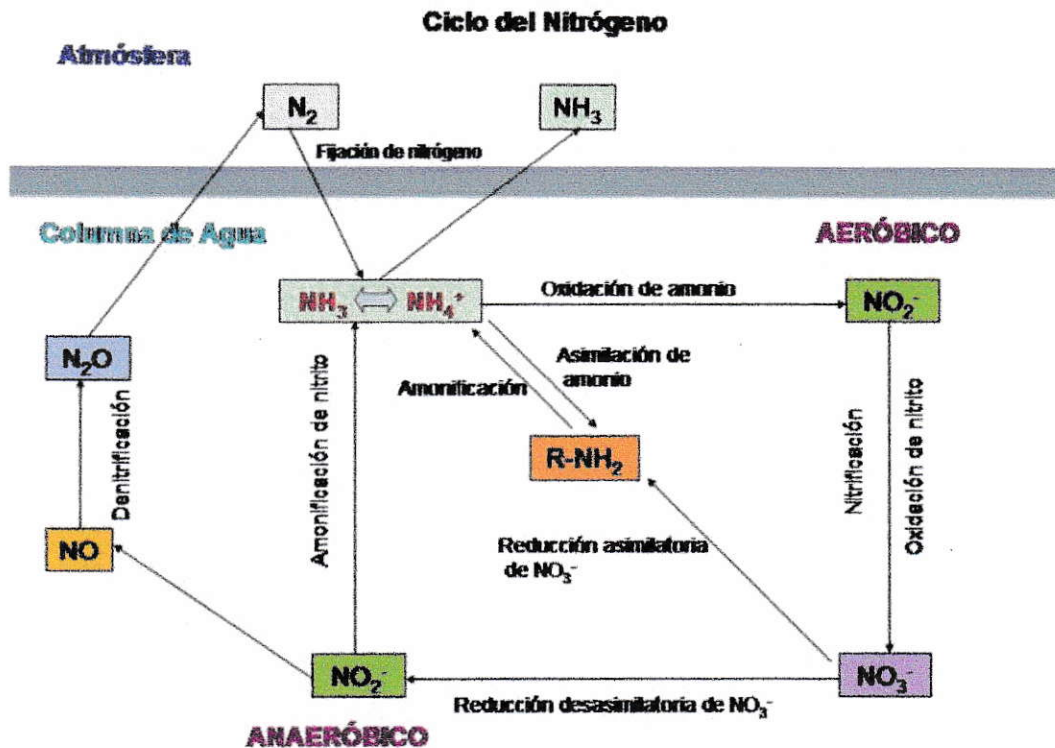


Figura 3. Ciclo del nitrógeno, en términos de las especies, procesos químicos más importantes y componentes del sistema en estudio.

En términos de las especies químicas más relevantes del ciclo, la figura 3 permite observar cuales son y como se desplazan los equilibrios hacia la formación de unas u otras dependiendo de las condiciones del sistema (aeróbicas o anaeróbicas), por su parte, los flujos de nitrógeno entre los componentes de un ecosistema están determinados por los siguientes procesos:

i) Biofijación y Amonificación

El aporte de nitrógeno atmosférico es menor en comparación con el que llega en forma directa a un cuerpo de agua dulce, vía terrestre por escorrentía, contenido en la materia orgánica. Una vez ingresado a la columna de agua se degrada a

compuestos más simples por bacterias y hongos que utilizan las proteínas y aminoácidos para sintetizar sus propias proteínas, proceso denominado biofijación, liberando el exceso de nitrógeno como amoníaco NH_3 o amonio NH_4^+ . La amonificación corresponde a la liberación final de amoníaco al medio, debido a procesos de descomposición, en los que se produce la hidrólisis de proteínas y oxidación de aminoácidos de la materia orgánica muerta

En presencia de nitrogenasa ocurre la siguiente reacción:



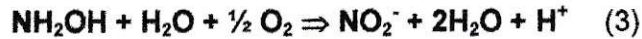
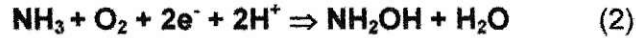
Donde el nitrógeno se reduce desde el estado de oxidación cero a menos tres (0 a -3).

ii) Nitrificación

La nitrificación es el proceso de transformación de NH_3 a nitratos, para ser utilizado por plantas u otros organismos.

Ocurre en dos etapas: en primer lugar algunas bacterias pueden oxidar al amoníaco, liberando energía que utilizan otras bacterias como fuente primaria, produciendo nitrito NO_2^- , el cual es tóxico para las plantas, pero es raro que se acumule, la presencia de nitritos en altas concentraciones es un indicador clave de contaminación. Luego otras bacterias oxidan el nitrito a nitrato que es la forma en que el nitrógeno pasa mayormente a las plantas. Ambas etapas se resumen con la siguientes reacciones:

1) Oxidación de amonio a nitrito (bacterias pertenecientes al género Nitrosomas). Este paso se realiza a su vez en dos subetapas, con la formación de la hidroxilamina como intermediario. En la primera el estado de oxidación del nitrógeno varía desde menos tres a más tres (-3 a +3).



$$\Delta G^0 = -287 \text{ KJ/ reacción}$$

(Enzima: monooxigenasa)

2) Paso de nitrito a nitrato. (Bacterias oxidadoras de nitrito del género Nitrobacter), en que el nitrógeno se oxida desde +3 a +5.



$$\Delta G^0 = -76 \text{ KJ/reacción}$$

(Enzima: nitrito oxidasa)

iii) Asimilación y desnitrificación

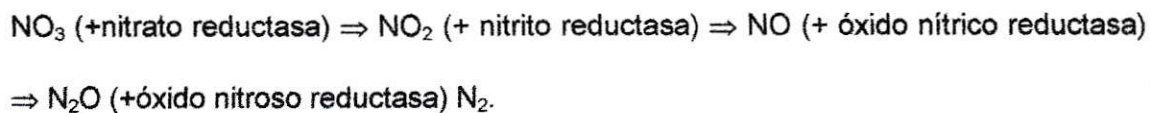
Una vez que el nitrato está dentro de la célula de la planta, se reduce nuevamente a amonio con un gasto energético asociado. Estos iones se combinan con una serie de compuestos de carbono para formar aminoácidos y otras moléculas nitrogenadas, los cuales a su vez vuelven nuevamente a la columna de agua cuando el organismo muere.

Los nitratos pueden ser acumulados en los sedimentos, mediante el proceso de humificación, en el que compuestos estables nitrogenados de elevado peso molecular se mantienen formando parte del humus en descomposición o también pueden salir de la columna por los mecanismos anteriormente mencionados.

Se denomina desnitrificación cuando los procesos de nitrificación se invierten y el Nitrógeno amoniacal constituye la principal fuente de Nitrógeno elemental. Esto

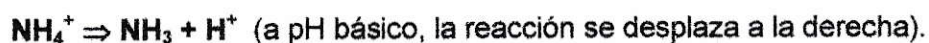
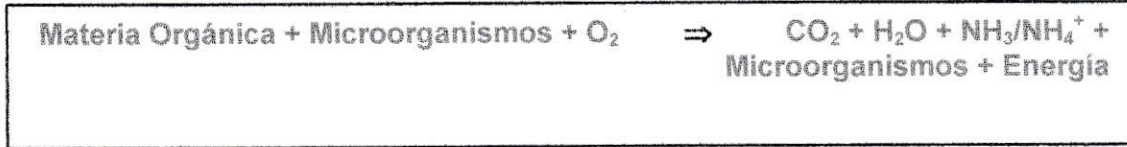
ocurre principalmente, en suelos y sedimentos con carencias de oxígeno (tundras, pantanos y alta montaña).

La secuencia que conlleva la desnitrificación es la siguiente:



2.3 Ciclo del Nitrógeno en un río

En un sistema como el río Mapocho, en el que la contaminación se debe principalmente a descargas de aguas residuales, el origen del Nitrógeno, puede ser muy diverso, predominando el que proviene de la mineralización de la materia orgánica a amoníaco o ión amonio según se indica en la siguiente secuencia:



Otra fuente de amoníaco se produce por descomposición de la urea, a través de la enzima ureasa, así puede degradarse en amoníaco y dióxido de carbono:



La materia orgánica disuelta (DOM) es uno de los componentes más determinantes de un río como ecosistema con respecto a sus ciclos biogeoquímicos,

ya que es uno de los principales componentes de dichos ciclos, entregando energía a la biota y afectando los niveles de oxígeno disuelto, nitrógeno, fósforo, sulfuros, numerosos elementos traza y acidez, por la actividad de los microorganismos. En la superficie de adsorción de los sedimentos actúa como controladora de la solubilidad y participa en los procesos de degradación fotolítica y microbiológica. Posee características similares al humus (Stevenson, 1994), sin embargo, se desconoce su estructura. Su concentración, composición y química son altamente variables y dependientes de la materia orgánica presente en el sistema, temperatura, fuerza iónica y pH (Leenheer y col, 2003).

La DOM está definida en un rango de masas molares que van desde unos pocos cientos hasta 100.000 Daltons (Da). Es una compleja mezcla de hidrocarburos aromáticos y alifáticos, que llevan unidos amidas, carboxilos, hidroxilos, cetonas y otros grupos funcionales menores. Se puede clasificar en Hidrofilica e Hidrofóbica, según su comportamiento en agua.

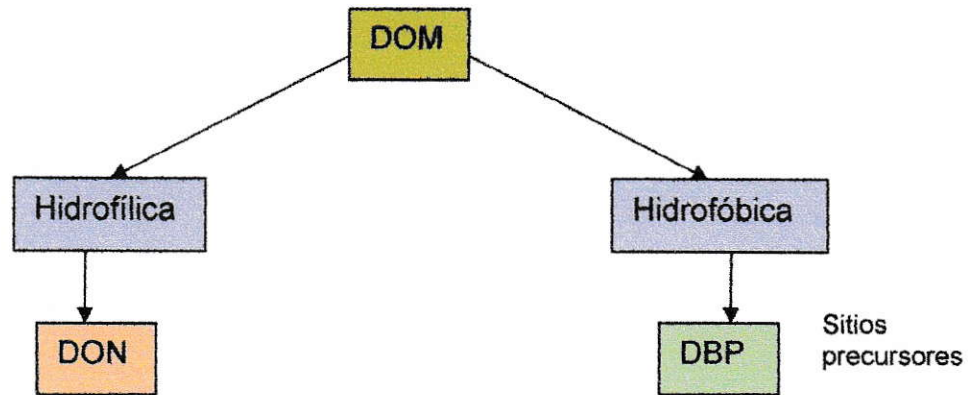


Figura 4. Clasificación de la Materia Orgánica Disuelta (DOM). DON = nitrógeno orgánico disuelto, DBP = Desinfección por productos

La figura 4 indica la clasificación de la DOM, también se observa que el Nitrógeno Orgánico Disuelto (DON) pertenece a los compuestos hidrofílicos de la DOM. Por otra parte, de la fracción hidrofóbica se derivan los compuestos relacionados con la Desinfección por Productos (DBP) y por ende los sitios precursores de ésta. La DBP corresponde a la capacidad natural que posee un río para autodepurarse.

Los compuestos que conforman al DON tienen la particularidad de que no son eliminados mediante las técnicas convencionales de tratamientos de aguas y además reaccionan con los sitios precursores de DBP, disminuyendo las posibilidades de desinfección natural del sistema (Hwang y col, 2000).

3. Flujo de amoniaco en el ecosistema

En este trabajo lo más relevante desde el punto de vista ecosistémico y ambiental es el flujo Columna Agua-Atmósfera de amoniaco, figura 5, que es un componente transitorio en el agua, se ve influenciado por la actividad biológica, es el producto natural de la descomposición de los compuestos nitrogenados. Puede encontrarse como amoniaco o ión amonio dependiendo del pH. En general las aguas superficiales no deben contenerlo en condiciones normales, su presencia es señal de contaminación, si el medio es muy anaerobio puede transformarse a nitrito.

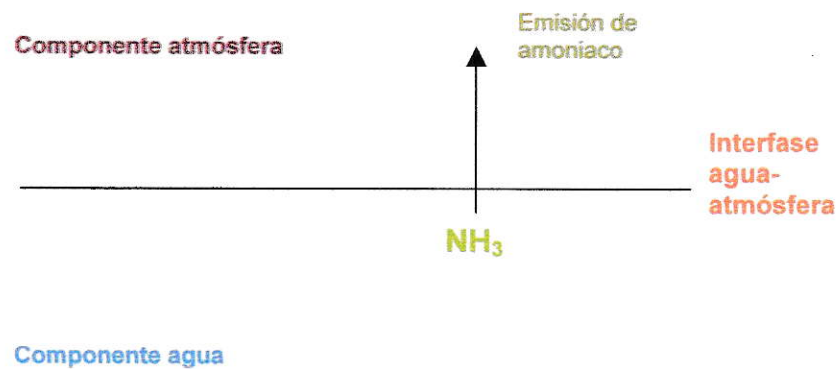


Figura 5. Intercambio Amoniaco en el sistema.

4. Amoniac: Propiedades Físico-químicas que determinan el intercambio Columna de Agua- Atmósfera

4.1 Características generales del amoniaco

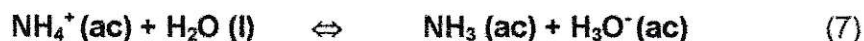
La molécula de amoniaco tiene forma tetraédrica distorsionada, es decir, presenta una hibridación sp^3 , en el ión amonio, tres de los orbitales se solapan con los orbitales s de los hidrógenos y el que resta se queda con los electrones no compartidos, es decir los tres átomos de hidrógeno van unidos al nitrógeno, que es un átomo pequeño y electronegativo, por lo que el amoniaco presentará enlaces intermoleculares de puentes de hidrógeno al igual que la molécula de agua. Este tipo de enlace provoca que sus puntos de fusión y ebullición, al calor de vaporización, la constante dieléctrica, etc. sean anormalmente altos. Como por ejemplo, la presión de vapor del amoniaco acuoso (28%) tiene un valor bastante alto es 447,0 mm de Hg a 20° C (EPA, 1983), por lo que es factible asumir que pueda ser emitido a la atmósfera.

En su estado gaseoso es incoloro y tiene un olor picante característico, que irrita los ojos, muy soluble en agua, menos denso que el aire, estable a temperatura ambiente pero se descompone por la acción del calor, reacciona con metales, especialmente con alcalino y alcalinotérreos, puede dar lugar a amidas, imidas o nitruros, posee características Ácido-Base, al actuar como base puede aceptar un ión hidrógeno:



Es decir se comporta como una base débil de Brønsted-Lowry, por lo que se utiliza en muchas reacciones como fuente moderada de iones OH^- .

Las especies ión amonio / amoniaco constituyen un sistema amortiguador que es una solución que puede absorber grandes cantidades moderadas de ácidos o bases, sin un cambio significativo en su pH, es decir, es una disolución que contiene sustancias que inhiben los cambios de pH, o concentración de ión hidrógeno de la disolución. Dichas sustancias pueden contener un ácido débil y su sal, o una base débil y una sal de esa base, por ejemplo, hidróxido de amonio y cloruro de amonio. Si se considera la reacción del amoniaco en agua expresada en la ecuación 6 y se observa la reacción se ve que los iones amonio reaccionan con una base. Pero si se disuelven iones amonio en agua ocurre:



En esta reacción inversa, se observa que las moléculas de amoniaco reaccionan con los ácidos. Si se tuviese una solución con suficientes cantidades de cada una de estas sustancias, los iones amonio y las moléculas de amoniaco, se tendría una solución amortiguadora, de manera que las moléculas del amoniaco reaccionarían con cualquier ácido que se añadiese, y los iones amonio reaccionarían con cualquier base que se añadiese. Existe un ión común entre el electrolito débil y su sal. El comportamiento de una solución amortiguadora puede ser explicado por el efecto del ión común y el Principio de Le Chatelier.

4.2 Potencial redox

Por otra parte el potencial redox es utilizado como una expresión de la tendencia de un sistema para aceptar o donar electrones: Así mismo, se dice que los sistemas óxicos son de un alto potencial redox., ya que poseen oxígeno disponible como aceptor de electrones (Schlesinger, 1997).

Es decir, a mayor pH la oxidación se produce con más facilidad, varios mecanismos anaerobios, como la desnitrificación, se facilitan en medios ácidos. (Weier y William, 1986)

4.3 Influencia del pH

El pH es determinante para establecer la presencia de amoniaco o ión amonio en la columna de agua y su posterior salida hacia la atmósfera (Shi y col, 1999). A pH 9,25 la mitad del amoniaco se encuentra desionizado y la otra mitad ionizada como ión amonio. A pHs en que se encuentran normalmente los cuerpos de agua en la naturaleza se debería encontrar mayormente como ión amonio, sin embargo a pH por sobre 7 se produce un aumento importante hacia la formación de amoniaco. Por esta razón, muchas propiedades físico-químicas son función del pH, por ejemplo, la volatilidad aumenta con el aumento de éste, las sales de amonio como cloruros, nitratos y sulfatos se disocian fuertemente y son muy solubles en agua y el potencial redox (Weast y col, 1988).

Con respecto al pH se puede establecer la siguiente relación:

pH ácido \Rightarrow menor cantidad de $O_2 \Rightarrow$ menor potencial redox.

pH básico \Rightarrow mayor cantidad de $O_2 \Rightarrow$ mayor potencial redox

La constante de basicidad para la ecuación 6, está definida por la siguiente relación:

$$K_b = \frac{[\text{NH}_4^+] \times [\text{OH}^-]}{[\text{NH}_3]} \quad (8)$$

Despejando la concentración de amoníaco en la ecuación 8, se tiene:

$$[\text{NH}_3] = \frac{[\text{NH}_4^+] \times [\text{OH}^-]}{K_b} \quad (9)$$

El amonio total $[\text{NH}_4^+]_T$ que se mide de las muestras extraídas de la columna de agua, corresponde a la suma de las especies amonio y amoníaco, presentes en ella.

$$[\text{NH}_4^+]_T = [\text{NH}_4^+] + [\text{NH}_3] \quad (10)$$

Si se reemplaza la ecuación 9 en la 10 se obtiene:

$$[\text{NH}_4^+]_T = [\text{NH}_4^+] + \frac{[\text{NH}_4^+] + [\text{NH}_3]}{K_b} \quad (11)$$

Factorizando por $[\text{NH}_4^+]$:

$$[\text{NH}_4^+]_T = [\text{NH}_4^+] \times \left(1 + \frac{[\text{OH}^-]}{K_b} \right) \quad (12)$$

Luego:

$$[\text{NH}_4^+] = \frac{[\text{NH}_4^+]_T}{\left(1 + \frac{[\text{OH}^-]}{K_b}\right)} \quad (13)$$

Ahora se puede despejar la concentración de amoníaco NH_3 calculado presente en la columna de agua de la ecuación 10.

$$[\text{NH}_3] = [\text{NH}_4^+]_T - [\text{NH}_4^+] \quad (14)$$

Se reemplaza la ecuación 8 en la 9 y se factoriza por $[\text{NH}_4^+]_T$:

$$[\text{NH}_3] = [\text{NH}_4^+]_T \times \left[\frac{1}{1 + \frac{[\text{OH}^-]}{K_b}} \right] \quad (15)$$

Así se obtiene la expresión que define la concentración de amoníaco calculada que debiera encontrarse en la columna de agua, a partir del pH, temperatura y la concentración de amonio total obtenida analíticamente de la columna de agua (Ecuación 15).

4.4 Efecto de la temperatura en el equilibrio

La constante de disociación K_b para el equilibrio de la ecuación 6 es $1,774 \times 10^{-5}$ a 25°C ($\text{p}K_b = 4,751$), la cual aumenta suavemente con el aumento de la temperatura (Weast y col, 1988).

Mediante la siguiente relación es posible ajustar la constante de equilibrio en función de la temperatura:

$$pK_a = \frac{0,0827 + 2729}{T} \quad (\text{Dean, 1986}) \quad (16)$$

Donde T es la temperatura en grados Kelvin de la columna de agua.

El valor de K_b que se obtenga a partir del ajuste de K_a con la temperatura, se introduce en la ecuación 11.

5. Amoníaco, como contaminante en la atmósfera

Es la única base gaseosa presente en la atmósfera.

- Las fuentes primarias de amoníaco se atribuyen principalmente a actividades biológicas y agrícolas, por lo tanto se ubican principalmente a nivel de superficie (Koutrakis, 1998).
- Puede neutralizar dióxido de sulfuro (SO_2) y óxidos de nitrógeno (de Visscher. A y col, 2001)
- Produce partículas y núcleos de condensación, favoreciendo la formación de aerosoles (Donaldson, 1999).

Los aerosoles de diámetro de 0,01 a 0,1 μm se conocen como "partículas ultrafinas". Estos son productos de la nucleación homogénea de vapores supersaturados (SO_2 , NH_3 , NO_x y productos de la combustión). Los aerosoles de diámetro entre 0,1 y 2,5 μm , se conocen como "partículas finas". Son formados en la coagulación de partículas ultra finas, a través de procesos de conversión - gas a partícula - conocidos como nucleación

heterogénea y por condensación de gases. La mayor parte de los elementos que componen estas partículas en países industrializados son: sulfatos (SO_4), nitratos (NO_3), ión amonio (NH_4^+), carbón elemental y carbón orgánico. También contienen una variedad de elementos metálicos que provienen de procesos de combustión.

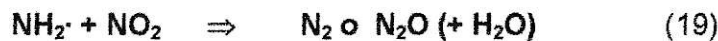
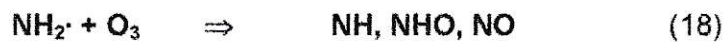
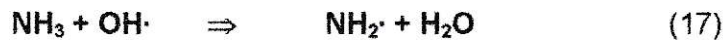
Debido a lo anteriormente descrito respecto del amoniaco y su relación con la formación de aerosoles, es posible relacionarlo con otros efectos:

- Producción de neblinas y efectos en la visibilidad, que se define como la distancia en la cual un objeto puede ser percibido contra el cielo como horizonte sin una distinción exacta de sus detalles. En regiones donde la concentración de partículas fluctúa alrededor de $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$, la visibilidad media es de 50 a 60 Km. Por el contrario las áreas urbanas donde la concentración de partículas excede los $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$, la visibilidad promedio se reduce a 8 ó 10 Km. Cuando se produce el smog fotoquímico, las partículas duplican su concentración y la visibilidad se reduce a 5 ó 7 Km.
- Participación en el balance radiativo, produciendo enfriamiento directa e indirectamente. Las partículas reflejan y absorben parte de la energía solar, lo cual provoca un decremento de la temperatura en algunas regiones del planeta.
- Precipitación y participación en el ciclo hidrológico.
- Efectos sobre materiales. Las partículas actúan como catalizadores sobre superficies metálicas, favoreciendo su oxidación. Además pueden absorber gases como los óxidos de azufre y óxidos de nitrógeno, los cuales reaccionan con la humedad del entorno y forman partículas de ácido sulfúrico o nítrico. Estos ácidos corroen los materiales de construcción de edificios y monumentos,

los cuales constituyen el patrimonio histórico de la humanidad.

- Efectos en el ecosistema. Las partículas y otros contaminantes del aire son causantes de la alteración de los elementos típicos del suelo y propiedades fisicoquímicas del agua. Intervienen significativamente en la formación del fenómeno de lluvia ácida, su impacto en la biosfera es determinado por el grado de toxicidad y contenido orgánico de las mismas.

- Formador potencial de NO y N₂O. Esto puede ser observado en las siguientes reacciones:



En medios con bajas concentraciones de SO₂.

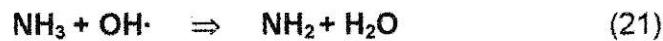
- Reacción de oxidación termodinámicamente inestable.



$$\Delta H^\circ_{\text{rxn}} = -53,93 \text{ kcal mol}^{-1}$$

$$\Delta G^\circ_{\text{rxn}} = -57,34 \text{ kcal mol}^{-1}$$

Pero su cinética es lenta (Dickerson,2003)



$$k = 1,6 \times 10^{-13} \text{ cm}^3 \text{ s}^{-1}$$

$$\text{Tiempo de vida } [\text{OH}] = 10^6 \text{ cm}^{-3}$$

$$\tau_{\text{NH}_3} = (k[\text{OH}])^{-1} \approx 6 \times 10^6 \text{ s} = 72 \text{ d.}$$

en comparación con $\tau_{\text{H}_2\text{O}} \approx 10 \text{ d.}$

Los aerosoles más comunes que se forman a partir de amoníaco son aquellos producidos al reaccionar con sulfatos y nitratos.



Ahora la reacción con nitrato:



6. Equilibrio químico e intercambio Columna de Agua- Atmósfera

El amoníaco presente en una columna de agua, se encuentra en equilibrio con el ión amonio, mediante la constante de acidez K_a , es posible conocer las concentraciones de cada una de estas especies en el equilibrio. Sólo una fracción del amoníaco que se encuentra en el agua queda disponible para ser liberado hacia la atmósfera, ya que la otra parte queda retenida por el sistema al adsorberse principalmente con las partículas suspendidas de materia orgánica presente. Así mismo, como se analizó anteriormente, la constante de acidez o de disociación depende de la temperatura del sistema.

La importancia de establecer la concentración del amoníaco libre presente en la columna de agua se explica porque sólo esta especie y no el ión amonio es la que puede ser emitida hacia la atmósfera. Este proceso cuando se encuentra en condiciones de equilibrio estático está regido termodinámicamente por la Ley de Henry, la cual fundamenta el reparto de una misma especie entre una fase acuosa y una fase gaseosa. Bajo este aspecto el río Mapocho o cualquier sistema natural no se

encuentran en un estado estático sino dinámico, aumentando de este modo la complejidad del análisis al tener que considerar un mayor número de variables que afectan conjuntamente al sistema.

Si bien las especies amoniaco e ión amonio se encuentran en equilibrio en el agua, el amoniaco se encuentra en equilibrio con su fase acuosa:



Esta ecuación en las condiciones reales del sistema será afectada por variables tales como temperatura, presión de vapor y de la turbulencia que adquiera el río en la zona de estudio.

6.1 Determinación de la constante de Henry en el sistema de estudio

La constante de Henry, se utiliza para estimar la separación de gases entre una fase gaseosa y una fase líquida, se aplica para disoluciones líquidas no ideales, según la cuál la concentración de un componente en una fase es proporcional a su presión parcial; es decir:

$$K_H = \frac{p_a}{C_w} \quad (26)$$

Donde p_a es la presión parcial del compuesto en la fase gaseosa, en equilibrio con la concentración C_w [mol m^{-3}], del mismo compuesto en el agua. Por lo tanto K_H se encuentra en unidades de $\text{atm m}^3 \text{ mol}^{-1}$. El valor que adquiera esta constante depende del sistema considerado, de la temperatura y de las unidades en que se expresan las variables. Cuando la concentración de la fase gaseosa se expresa en unidades de

[mol m⁻³], entonces se obtiene K'_H, denominada constante de Henry adimensional, que se expresa como:

$$K'_H = \frac{C_a}{C_w} \quad (27)$$

Donde C_a corresponde a la concentración de NH₃ presente en la fase gaseosa.

Si se considera el gas como ideal, entonces:

$$K'_H = \frac{K_H}{RT} \quad (28)$$

Donde T es la temperatura en Kelvin y R la constante universal de los gases (8,206 x 10⁻⁵ m³ atm mol⁻¹ K⁻¹). Los valores para amoníaco a 25°C son:

$$K_H = 1,75 \times 10^{-5} \text{ atm m}^3 \text{ mol}^{-1} \text{ (0,0175 atm l mol}^{-1}\text{)}$$

$$K'_H = 7,15 \times 10^{-4}$$

Teniendo el valor de K'_H, es posible calcular los valores de NH₃ atmosférico, a partir de la concentración de NH₃ calculado también, de la columna de agua.

6.1.1 Dependencia de la temperatura

Se ha propuesto la siguiente relación de la constante de Henry con la temperatura:

$$\ln K_H = - \frac{4200}{T} + 3,133 \quad (\text{Dasgupta y col, 1986}) \quad (29)$$

Donde T es la temperatura absoluta de la columna de agua.

7. Características Generales del Sistema Río Mapocho

7.1 Características geológicas

Las formaciones geológicas presentes corresponden a depósitos aluviales de grano grueso, provenientes de los aportes del Río Mapocho y Estero Lampa. El relleno aluvial se intercala con grandes depósitos pumacíticos antiguos. Las unidades geomorfológicas más importantes del sector corresponden a depósitos fluvioglaciales y fluviales, constituidos por ripios gruesos, grava y arena. Además se tienen depósitos de cenizas volcánicas donde se encuentran depósitos pumacíticos de cenizas vítreas y tamaño de arena (Garcés y col, 2001).

7.2 Características hidrológicas

Un aspecto estructural en el funcionamiento de los ríos como ecosistemas son las variaciones de caudal. Los ríos presentan patrones anuales e interanuales.

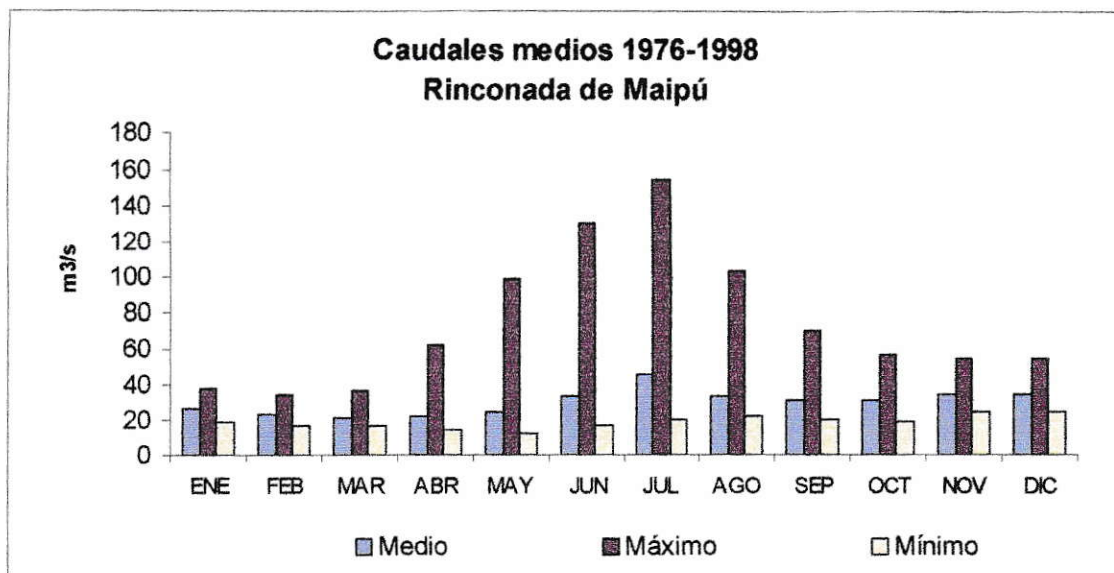


Figura 6. Recopilación de datos de caudales medios en la estación de Rinconada de Maipú entre los años 1976-1998. Estudio de Impacto de la Planta de Tratamiento La Farfana en la restauración del río Mapocho (2003).

La figura muestra un ciclo anual de caudales medios en una estación del sector en estudio. Dicha estación presenta dos puntos altos, uno en el mes de Julio y otro en Noviembre - Diciembre. Los meses con menor caudal medio fueron Marzo y Abril, con 21 y 22 m³/s aproximadamente. Desde el punto de vista del funcionamiento del río se produciría una dilución de la materia orgánica a aproximadamente la mitad en el mes de Julio. Así, se puede pensar que el funcionamiento del ecosistema tiene grandes fluctuaciones, sin embargo, la condición de estar muy concentrado con materia orgánica permanece (Contreras y Serey, 2003)

7.3 Características fisicoquímicas del río Mapocho

7.3.1 pH

Según los datos obtenidos por la recopilación de los registros de la Dirección General de Aguas (DGA), en las estaciones arriba de Los Almendros es decir, Río Molina, Yerba Loca y Río San Francisco, presentan pH con una tendencia claramente más ácidos, con un rango promedio de 4,3 – 6,8. Esto puede deberse a emisiones de aguas residuales de empresas mineras ubicadas en la parte más alta del cauce del río y a las características químicas de los sedimentos que forman los tributarios en la parte del río, que en el caso del río San Francisco son de altos contenidos salinos y sulfatados que inducirían a pH más bajos. A medida que el río cruza la ciudad las aguas tienden a neutralizarse aunque no se observa un cambio drástico, sin embargo ya en la zona de Rinconada de Maipú, se observan pH más alcalinos en comparación con los observados en la parte superior del río con un rango promedio de 6,9 – 8,2 (Contreras y Serey, 2003).

Por otra parte la hipótesis de que el río sufre una alcalinización hacia el oriente de su curso también puede ser sostenida por el patrón de distribución que se observa con los bicarbonatos, si bien no se observa presencia de carbonatos a lo largo de la columna en las zonas muestreadas, si hay un aumento sostenido de la concentración de bicarbonatos hacia la parte baja del río, otorgándole un pH más alcalino por sus características químicas (Ayala y col, 2000).

7.3.1.1 Ciclo diario de pH

Con respecto al ciclo diario, según lo observado en dos estaciones que fueron muestreadas en ubicaciones completamente opuestas, poniente y poniente del río, es posible observar que si bien los pH son muy distintos, ya que en la zona alta (Los almendros) son de carácter más bien ácido (Figura7), en ambos casos existe una variación cíclica suave, característica en cada sistema. En el sector de la estación de Rinconada de Maipú se observó su máximo cerca de las 20 horas y un mínimo a las 24 horas aproximadamente (Contreras y Serey, 2003).

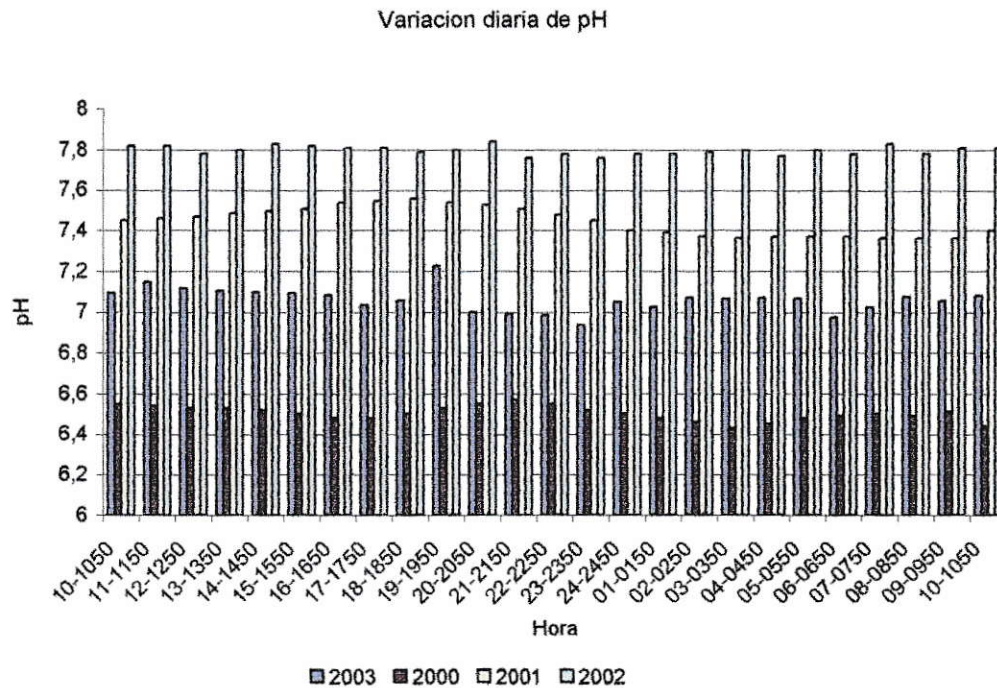


Figura 7. pH medido en rangos de 1 hora en la estación de La Farfana en Diciembre del 2003 comparados con datos entregados por Aguas Andinas para la misma estación, fecha y rango horario. Estudio de Impacto de la Planta de Tratamiento La Farfana en la restauración del río Mapocho (2003).

7.3.2 Temperatura

La temperatura afecta todos los usos de agua, especialmente los relacionados con seres vivos, ya que la velocidad de las reacciones enzimáticas es muy dependiente de este parámetro. A mayor temperatura baja la capacidad de disolver oxígeno y hay una menor capacidad de autopurificación. Los niveles de temperatura son, en general, altos, pero no están asociados a fuentes de contaminación puntuales, sino más bien a las condiciones naturales del valle.

7.3.3 Conductividad

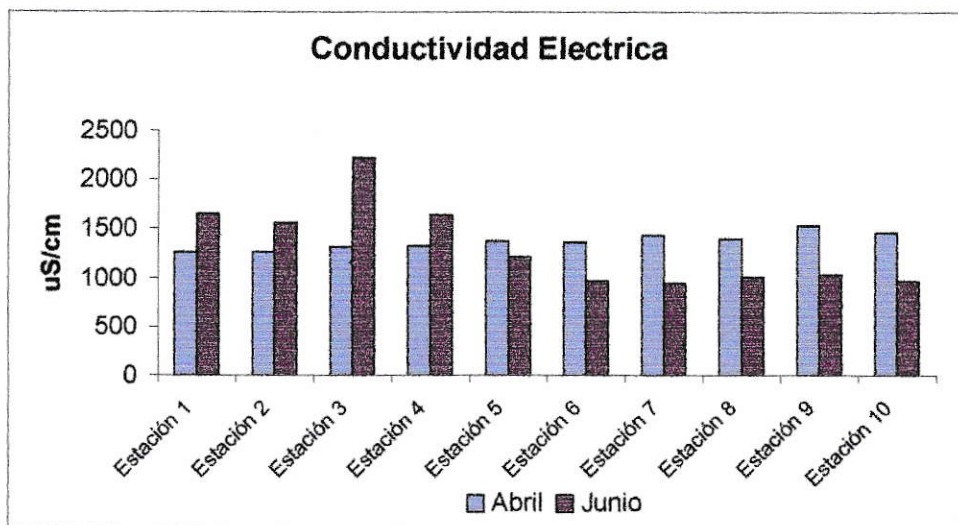


Figura 8. Conductividad eléctrica medida en varias estaciones de la zona poniente del río desde El Punte Mapocho hasta su unión con el río Maipo, durante el periodo abril-junio 2003. Las estaciones siguen el orden del río en su descenso Estudio de Impacto de la Planta de Tratamiento La Farfana en la restauración del río Mapocho (2003).

Todos los valores de conductividad observados se encuentran por encima de los valores propuestos como Clase 1 "Agua sin contaminación" (< 750), por la norma de calidad ambiental de agua para proteger usos determinados, que significa que no se considera "un agua para todo uso como protección de la comunidad acuática, acuicultura, pesca deportiva, captación para una planta con tratamiento primario, recreación con y sin contacto directo, riego sin restricción, actividad industrial, bebida para animales y navegación". Incluso en algunas estaciones se sobrepasan los requerimientos para la Calidad de Agua Clase 2 "Agua de calidad buena" (<1000) y Clase 3 "Agua de calidad discreta" (<1500). (Ver detalle de Clasificación estándar en anexo H)

7.3.4 DBO y DQO

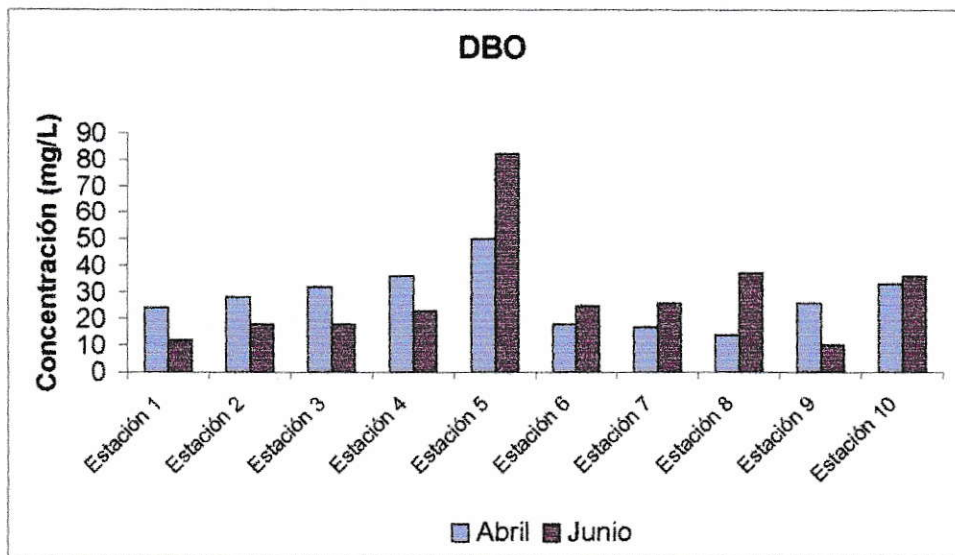


Figura 9. Demanda Biológica de Oxígeno, medida en varias estaciones de la zona poniente del río desde El Puente Mapocho hasta su unión con el río Maipo durante el periodo abril-junio 2003. Las estaciones siguen el orden del río en su descenso Estudio

de Impacto de la Planta de Tratamiento La Farfana en la restauración del río Mapocho (2003). Localización de estaciones ver Anexo G.

En Abril las estaciones 1, 2, 3, 9 y 10 son de Clase 4 (<30), 4 y 5 están por debajo de esta clasificación, 6, 7 y 8 Clase 3 (<20). En junio los valores bajan en las cinco primeras estaciones y la estación 9, en todas las otras aumentan. Los valores de mayor magnitud se observan en la estación 5 que en ambas fechas están por debajo de la Clase 4.

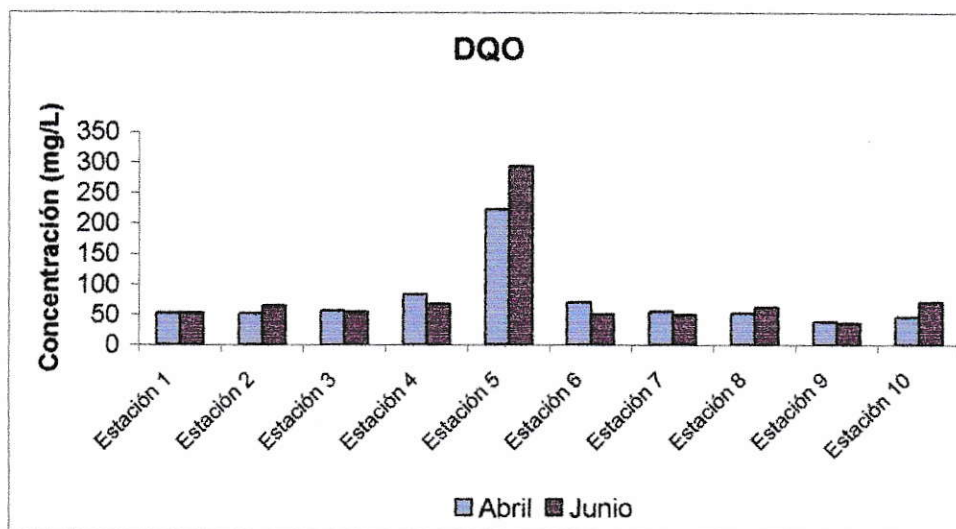


Figura 10. Demanda Química de Oxígeno, medida en varias estaciones de la zona poniente del río desde El Puente Mapocho hasta su unión con el río Maipo durante el periodo abril-junio 2003. Las estaciones siguen el orden del río en su descenso Estudio de Impacto de la Planta de Tratamiento La Farfana en la restauración del río Mapocho (2003).

8. Técnica de Análisis

8.1 Teoría del muestreo pasivo

La colección de la muestra de aire por el tubo, está determinada por el fenómeno de difusión, en el que el analito se encuentra en movimiento, difundiendo desde una zona de alta concentración (c_1) a una de más baja concentración (c_2).

La rapidez de la difusión se denomina difusividad o coeficiente de difusión y la cantidad de gas difundido se define como flujo, que a su vez, se representa por la Primera Ley de Fick:

$$D = \frac{J}{(c_2 - c_1)/l} \quad (30)$$

D es la difusividad (coeficiente de difusión) en cm^2/s . J es el flujo medido por la cantidad (masa, moléculas, etc.) que pasa por un área de un centímetro cuadrado perpendicular a l (longitud), por segundo, expresado en $\text{g}/\text{cm}^2\text{s}$. La difusión continúa hasta que la mezcla es homogénea ($c_1 = c_2$).

El flujo J es igual a la masa colectada Q (g), por el tiempo t (s) y el área A (cm^2). Así, se puede obtener una relación para la masa colectada Q ecuación 31, (Brown y Woekenberg, 1989).

$$J = \frac{Q}{At} \quad (31)$$

$$Q = (DA) \left(\frac{c_1 - c_2}{l} \right) t \quad (32)$$

En la caso de los muestreadores pasivos, c_1 es la concentración que es muestreada y el c_2 es la concentración en la superficie del filtro de la colección. El filtro de la colección se asume un reservorio perfecto y debe recolectar 100% del analito difundido (un supuesto que puede no ser verdad si el filtro alcanza la saturación) asumiendo que la concentración del gas (c_2) del analito sobre el filtro es igual a cero, obtenemos la ecuación:

$$Q = \frac{DAc_1 t}{l} \quad (33)$$

DA/l tiene las unidades de cm^3/s y se denomina como velocidad del muestreo (r) (ecuación 34)

$$r = \frac{DA}{l} \quad (34)$$

$$c_1 = \frac{Q}{rt} \quad (35)$$

Substituyendo r en la ecuación 33 y reordenando obtenemos la ecuación 35. Usando esta ecuación y la cantidad de analito muestreado en gramos (q) y el tiempo del muestreo en segundos (t), uno puede calcular la concentración del gas de interés (c_1) en g/cm^3 .

Para utilizar las ecuaciones antedichas, se necesita el coeficiente de difusión. Los coeficientes de difusión para los analitos comunes se han determinado

experimentalmente y se pueden encontrar en publicaciones y textos. La tabla 1 enumera algunos valores publicados para el amoníaco.

Tabla 1. Coeficientes de difusión para el amoníaco. Ammonia sampling using Ogawa passive samplers. Recopilación de datos (Tate, 2002).

Coeficiente de Difusion A 25 °C cm ² /seg	Autor
0,23	(Shelley, 1986)
0,236	(Coulson, Richardson, 1954)
0,28	(Logan, 1999)

Los coeficientes de difusión son una función de la temperatura y presión. La ecuación 36 muestra esta dependencia (Brown y Woekenberg, 1989).

$$D = f\left(\frac{T^{3/2}}{P}\right) \quad (36)$$

Sin embargo, de la ley de los gases ideales, la concentración es proporcional a la presión e inversamente proporcional a la temperatura (ecuación 37).

$$c = \frac{n}{v} = \frac{P}{RT} \quad (37)$$

Al reemplazar estas relaciones en la ecuación 35 obtenemos la ecuación 38

$$Q = f\left(\frac{P}{T}, \frac{T^{3/2}}{P}\right) \quad (38)$$

$$Q = f(T)^{1/2} \quad (39)$$

Q, es la velocidad de colección de masa, y "es independiente de la presión, pero proporcional a la raíz cuadrada de la temperatura absoluta. En la práctica, la dependencia de la velocidad del muestreo de la temperatura en los niveles de temperatura ambiente (sobre 0,2% / °C) puede ser ignorada (Brown y Woekenberg, 1989).

8.2 Descripción del muestrador OGAWA PSD

El muestreador pasivo OGAWA consiste en un tubo cilíndrico de polímero colocado en un contenedor del mismo material, provisto de dos filtros de colección ubicados a cada lado del tubo. Cada filtro se ubica entre dos rejillas, los que finalmente se fijan mediante una tapa final que contiene 25 orificios, que permiten que el amoníaco penetre en los filtros por difusión.

A continuación en la figura se describen los componentes de un tubo pasivo.

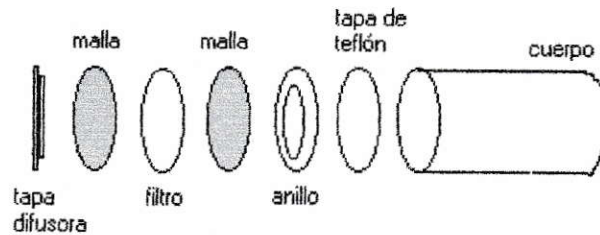
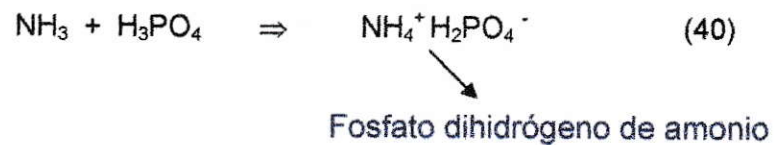


Figura 11. Componentes de un tubo OGAWA PSD.

8.2.1 Revestimiento de los PSD

Una vez que se tienen los componentes lavados y secos, se arma el tubo colocando la tapa de teflón en el cuerpo, luego el anillo y la rejilla, posteriormente se empapa el filtro con 50 μL de solución 1% p/p de H_3PO_4 en agua desionizada pipeteados directamente sobre él. Finalmente se coloca la segunda tapa apretada.

La reacción que ocurre en el filtro entre el amoníaco y la solución es la siguiente:



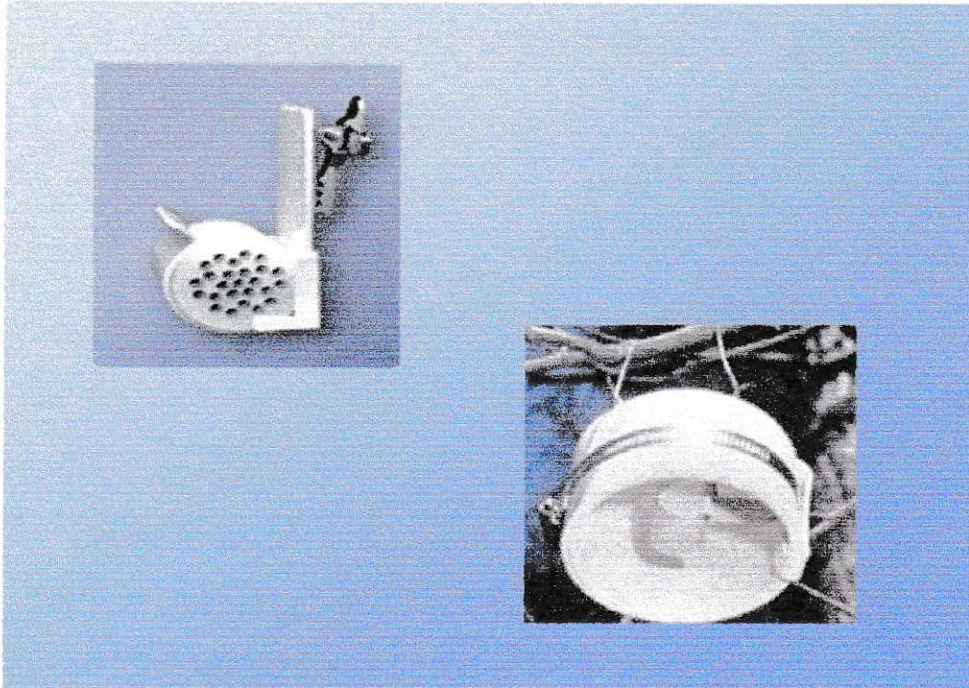


Figura 12. Instalación de tubos pasivos.

8.3 Otros estudios realizados con muestreadores OGAWA PSD

- Determinación de O_3 en la ciudad de Dallas, durante un periodo de 8 semanas (Varns y col, 2001).
- Efectos de la exposición de asmáticos a O_3 , NO y NO_2 , en la ciudad de París (Liard y col, 1999).

8.4 Ventajas y desventajas de muestreadores OGAWA PSD

Las principales ventajas de la técnica basada en la difusión es su simplicidad, eficiencia, bajo costo, corto tiempo de preparación y fácil transporte. El muestreo no requiere una fuente de corriente eléctrica, ni mantenimiento. De esta forma, un gran

número de tubos pasivos puede ser usado en una amplia área geográfica siendo fácil la protección del viento, de las lluvias o del sol.

En cuanto a las desventajas, en general el mayor problema que se debe enfrentar es la variabilidad de los blancos, debido a que se pueden contaminar fácilmente en el proceso de preparación de los filtros (lavado, impregnación, traslado) con el amonio presente en el ambiente o por el contacto de los filtros con el operador. Por esta razón los ambientes de trabajo deben encontrarse muy limpios y el operador debe trabajar con mascarilla de manera de minimizar la posible contaminación que se traduce en datos con un mayor porcentaje de error.

8.5 Otros métodos de determinación de NH_3 atmosférico

- Método de formación de fenolato sódico. Muestreo activo. Utilización de un captador de pequeño volumen provisto de un borboteador. La muestra de aire entra al captador donde se pasar a través de una solución de ácido sulfúrico quedando el amoniaco retenido como sulfato de amonio. Esta solución se valora por reacción del ión amonio con fenolato sódico e hipoclorito sódico dando una coloración azul. El análisis se realiza por medio de espectrofotometría.
- Adsorción de NH_3 en tubo relleno con sílica gel tratada con ácido sulfúrico. Cuantificación potenciométrica con electrodo específico para NH_3 .
- Captación con denuder o tubo pasivo, filtro impregnado con ácido oxálico. Análisis mediante Cromatografía iónica.
- Captación mediante método continuo. Cuantificación mediante Espectroscopia

de Absorción Ultravioleta (Mount y col, 2001).

9. Fundamentos de la Metodología de Análisis

La metodología de análisis para ambos tipos de muestra. Se utilizó el método 4500-NH₃ F (Phenate Method), el principio de este método es la formación de un compuesto azul intenso (Indofenol), que se forma al reaccionar amoníaco, hipoclorito y fenol, siendo catalizado por nitroprusiato de sodio

9.1 Reacciones del método

Este método se basa en la Reacción de Berthelot (1859). El mecanismo se desarrolla en dos pasos. En el primero el hipoclorito reacciona con el amoníaco presente



Figura13. Primera etapa, formación de monocloramina.

En el segundo paso la monocloramina reacciona con el fenol, formando como intermediario la cloramina quinona, que reacciona con el exceso de fenol presente para formar el compuesto coloreado azul de indofenol. Esta etapa es catalizada por nitroprusiato.

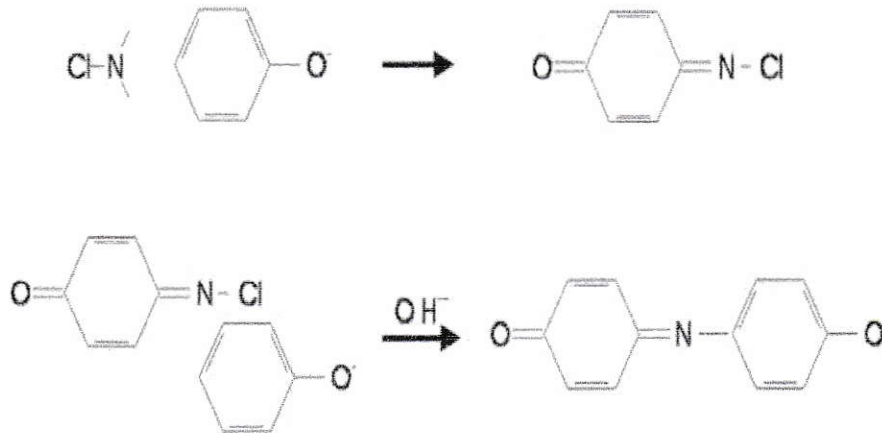


Figura 14. Segunda etapa. Formación de cloramina quinona y azul de indofenol.

9.2 Interferencias

Formación de complejos con Mg y Ca. El citrato elimina dichas interferencias por la precipitación de estos iones a valores altos de pH. No interfieren las otras formas de nitrógeno trivalente.

Los interferentes que otorgan turbiedad a la muestra pueden ser eliminados con destilación o filtración.

Si hay sulfuro de hidrógeno, remover con acidificación de las muestras a pH 3 con HCl y airear vigorosamente hasta que no haya olor.

HIPÓTESIS

El flujo de amoníaco de acuerdo al modelo del ciclo del nitrógeno es una función de variables físico-químicas. Dadas las condiciones existentes en el ecosistema de pH, temperatura, conductividad, características geomorfológicas y el alto ingreso de materia orgánica, se puede proponer que la dinámica del flujo de amoníaco debe presentar un equilibrio desplazado hacia la emisión desde la columna de agua en dirección a la atmósfera.

OBJETIVOS

1. Objetivo general

Establecer las condiciones ecosistémicas y fisicoquímicas bajo las cuales el amoniaco contenido en la columna de agua del río, se emite a la atmósfera local.

2. Objetivos específicos

1. Optimizar una metodología de cuantificación de amoniaco apropiada para las muestras obtenidas desde la atmósfera y el agua.
2. Caracterizar desde un punto de vista fisicoquímico y ecosistémico la columna de agua como fuente de emisión de amoniaco.

MATERIALES Y MÉTODOS.

1. Área de estudio y muestreo

1.1 Diseño del muestreo

En la figura 15 se observan las estaciones (marcadas en verde) que se definieron para realizar este estudio. El diseño de muestreo contempló la extracción de muestras de agua y atmosféricas en cada punto.

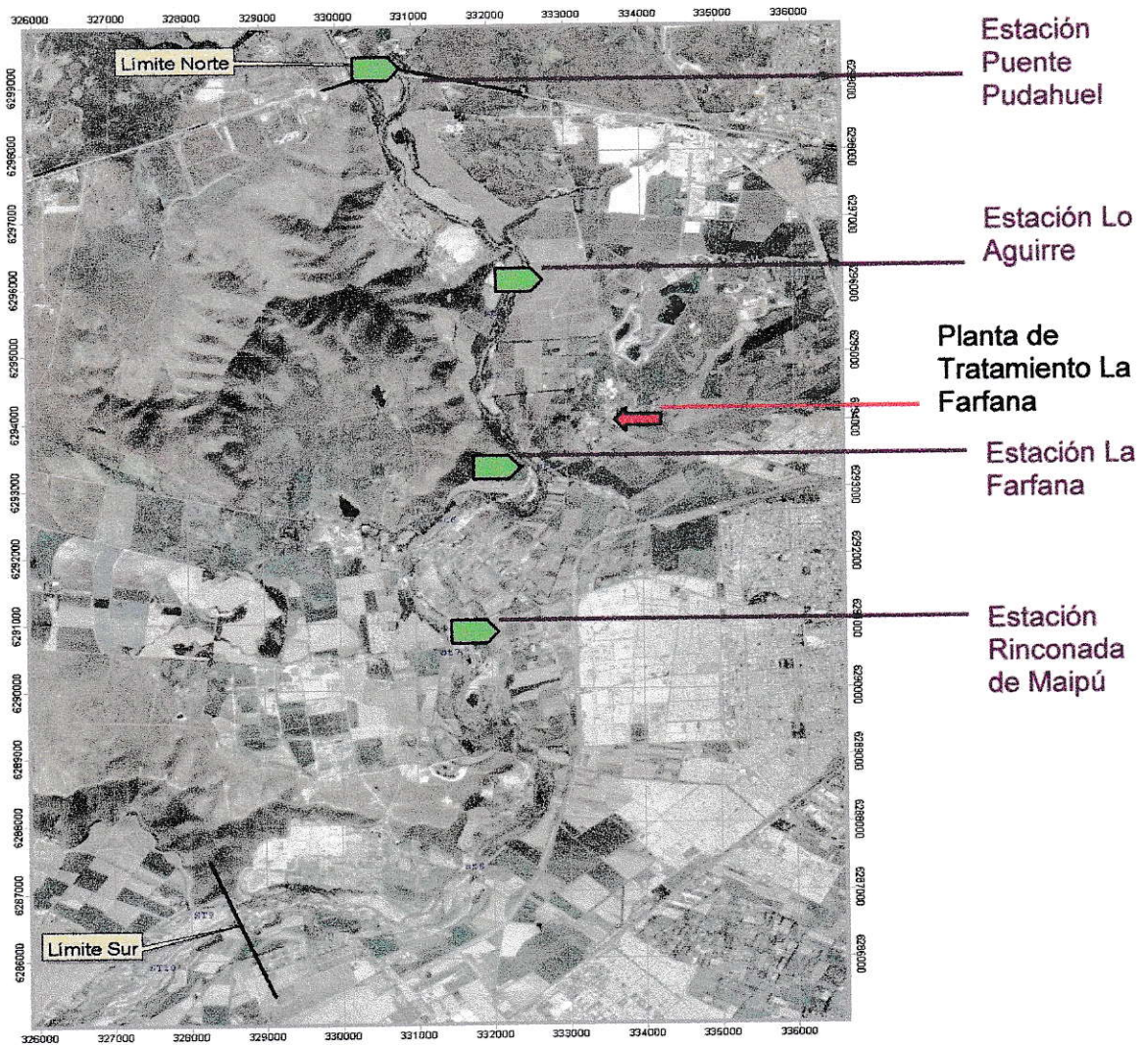


Figura 15. Área de estudio, en verde se describen las estaciones, en orden desde arriba hacia abajo son: Estación Puente Pudahuel, Estación Lo Aguirre, Estación La Farfana y Estación Rinconada de Maipú.

1.2 Características estructurales y morfológicas

El río presenta dos sectores claramente diferenciados en función de la geomorfología y aspectos de interés para comprender las funciones ecosistémicas.

1.2.1 Sector Norte, desde Lomas de Lo Aguirre hasta Puente Rinconada.

Presenta una estructura encajonada y una profundidad variable entre 1 a 1,5 m. El flujo es relativamente rápido y la distancia entre rápidos y remansos es considerable y puede alcanzar entre 50 a 100 metros.



Figura 16. Fotografía del entorno del río Mapocho estación Pudahuel y Lomas de Lo Aguirre, respectivamente.

1.2.2 Sector Rinconada de Maipú hasta El Trebal

Se encuentra ubicada más al sur que la sección anterior. Presenta una profundidad menor que el sector Norte, entre 50 centímetros y un metro. El ancho también es diferente y fluctúa entre 40 –100 metros y presenta brazos claramente inidentificables. Se identifica mejor la estructura de rápidos y lentos ya que existe

una menor pendiente y la velocidad del cuerpo de agua es menor. Característica de este sector es que la ribera poniente presenta con frecuencia un borde abrupto que puede alcanzar hasta 2 metros de altura en algunos sectores, mientras que la ribera oriente es baja y con una suave pendiente.



Figura 17. Fotografía del entorno del río Mapocho en la estación La Farfana.

La ribera oriente está fuertemente modificada por la actividad de extracción de áridos que se lleva a cabo en un sector importante de esta área.

2. Muestreo

2.1 Diseño del Muestreo

Para determinar los flujos de amoniaco entre los componentes del ecosistema se requiere que las muestras se obtengan en los mismos puntos y tiempos de observación, esto determina dos tipos de muestras: ecológicas y analíticas. El muestreo de tipo ecológico corresponde al diseño basado en una aproximación ecosistémica para la obtención de muestras que representan la dinámica de flujo entre los dos componentes del ecosistema: Columna de Agua y Atmósfera.

Las muestras analíticas corresponden a las muestras y contramuestras de el o los componente/s a estudiar además de sus respectivos blancos.

Tabla 2. Muestreo Ecológico.

Semanas	1	1	2	2	3	3
Número de Muestras	Atmosféricas	Agua	Atmosféricas	Agua	Atmosféricas	Agua
1	4	2	4	2	4	2
2	4	2	4	2	4	2
3	4	2	4	2	4	2

Tabla 3. Muestreo Analítico para muestras de agua

Número de Muestreos	Número de Muestras	Número de Contramuestras	Número de Blancos
3	24	24	5

Tabla 4. Muestreo Analítico para muestras atmosféricas

Número de Muestreos	Número de Muestras	Número de Contramuestras	Número de Blancos
5	38	38	21

2.2 Muestreo en agua

Para la obtención de muestras de la columna de agua, los materiales que se utilizaron fueron:

10 botellas de vidrio de ½ litro, tratadas con HNO₃ 65% grado p.a

H₂SO₄ 95-97% grado p.a

Guantes

Agua desionizada

Papel pH

Contenedor para preservar muestras

Manga plástica

Papel adhesivo

Marcador

Toalla absorbente

2.3 Método de muestreo

Se seleccionó el número y distribución de los sitios de muestreo, considerando que los sistemas acuáticos de tipo lóticos pueden tener variaciones debido a:

- estratificación
- variaciones diurnas y nocturnas
- lluvias
- escorrentía
- viento

2.4 Muestreo atmosférico

El muestreo seleccionado para este estudio es de tipo pasivo debido al número de muestras que se requieren, las condiciones de accesibilidad a los sitios de muestreo y porque se ajusta a los requerimientos analíticos para la determinación de amoniaco.

Se seleccionó el número y distribución de las muestras, luego se instalaron los tubos pasivos en los puntos seleccionados y se dejaron durante una semana de acuerdo a lo descrito previamente.

3. Materiales

3.1 Muestreo atmosférico

Muestreadores pasivos OGAWA PSD

Filtros de celulosa ADVANTEC TOYO 1

H₂SO₄ 95-97% grado p.a

H₃PO₄ 85%

Vasos precipitados

Agua destilada

Agua desionizada

Etanol grado p.a

Pinzas

3.2 Extracción y cuantificación de amoniaco en los filtros y en las muestras de agua

10 Vasos precipitados de 50, 100, 250, 500 mL

10 matraces de Erlenmeyer de 100 mL

10 matraces de aforo de 250 mL

1 Vaso precipitado de 500 mL

Guantes

Mascarilla

Pipetas de 0,1; 0,5; 1; 5; 10;20.

Agua desionizada

Toalla absorbente

Papel Parafilm

4 cubetas de cuarzo para espectroscopia de absorción ultravioleta

La metodología que se utilizó para el análisis de ambos tipos de muestras fue la misma, por lo tanto los reactivos utilizados fueron los siguientes:

Fenol ($\geq 89\%$)

Alcohol etílico 95 % v/v

Nitroprusiato de sodio

Citrato trisódico

Hidróxido de sodio

Hipoclorito de sodio

Cloruro de amonio anhidro (seco a 100°C)

Agua desionizada

3.3 Preparación de Reactivos

a) Solución de Fenol (Preparación semanal)

Para preparar 10 mL de disolución de fenol, se disolvieron 1,177 g de fenol $\geq 89\%$ = 1,11 mL ($d = 1,06\text{ g/mL}$), en alcohol etílico 95% P/V, aforando hasta un volumen final de 10 mL.

Cuidados: usar guantes y protección de ojos, ventilación, ya que se está trabajando con sustancias volátiles tóxicas.

b) Nitroprusiato de sodio 0,5 % p/v. (Duración 1 mes)

Se disolvió 0,5 g en 100 mL de agua desionizada.

Cuidados: guardar en botella ámbar.

c) Citrato alcalino.

Se disolvió 200 g de citrato trisódico y 10 g de hidróxido de sodio en agua desionizada, diluir a 1000 mL.

d) Hipoclorito de sodio.

Se descompone lentamente, reemplazar cada dos meses.

e) Solución oxidante. (Preparación diaria)

Mezclar 100 mL de citrato alcalino con 25 mL de hipoclorito de sodio.

f) Stock de soluciones de cloruro de amonio.

Disolver 3,819g de NH_4Cl anhidro (seco a 100°C) en agua y diluir a 1000mL. Donde
 $1,00 \text{ mL} = 1,00 \text{ mg de N} = 1,22 \text{ mg de NH}_3$

g) Soluciones de amonio estándar.

Preparar con el stock de soluciones de cloruro de amonio y agua en un rango adecuado para el estudio

Procedimiento

A 25 mL de muestra en un matraz de Erlenmeyer de 50 mL, agregar y mezclar cada vez que se adiciona: 1 mL de solución de fenol, 1 mL de nitroprusiato de sodio y 2,5 mL de solución oxidante.

Cubrir las muestras con papel parafilm. Dejar desarrollar el color a $22\text{-}25^\circ\text{C}$ con luz tenue durante aproximadamente 1 hora. El color se mantiene estable durante 24 horas. Medir absorbancia a 640 nm. Preparar un blanco.

4. Procedimiento analítico

4.1 Muestras de Agua



Figura 18. Procedimiento analítico para muestras de agua. Lavado de Material.

Para la eliminación de los iones presentes en el material se sigue el siguiente protocolo:

- 1) un lavado con el mínimo de detergente
- 2) enjuague con agua corriente
- 3) Tres enjuagues con agua destilada
- 4) Tres enjuagues con agua desionizada
- 5) Ambientación

Procedimiento.

Se realizó una modificación a las concentraciones recomendadas, debido a que las muestras presentan concentraciones muy bajas (del orden de ppm y ppb).

Se tomó 1 mL de muestra de agua, filtrada (0,2 μm). Luego se agregó, agitando constantemente y sin cambiar el orden: 200 μL de fenol, 200 μL de nitroprusiato y 500 μL de solución oxidante.

4.1.1 Preparación de estándares

Se preparó una serie de estándares de cloruro de amonio para construir curvas de calibración que se encontraran en el rango de trabajo adecuado según el tipo de muestra, ya que por ejemplo en el caso de las muestras atmosféricas las concentraciones de amoniaco a determinar se encontrarían en un rango menor que en las muestras de agua.

Para las muestras de agua se prepararon estándares en un rango de 0,5 mg / L a 3,0 mg / L a partir de una solución de cloruro de amonio anhidro de concentración 100 mg / L.

En la tabla 5 se describen los volúmenes de disolución que se utilizaron para las distintas concentraciones.

Tabla 5. Volúmenes para la preparación de estándares para muestras de agua.

ppm de NH ₄ Cl	Volumen de NH ₄ Cl de 100 mg / L	Volumen final
0,25	25 µL	10 mL
0,50	50 µL	10 mL
1,0	100 µL	10 mL
1,5	150 µL	10 mL
2,0	200 µL	10 mL
2,5	250 µL	10 mL
3,0	300 µL	10 mL

Las disoluciones fueron colocadas en celdas de cuarzo de 1cm y posteriormente se midieron sus absorbancias a 640 nm.

4.2 Muestras atmosféricas

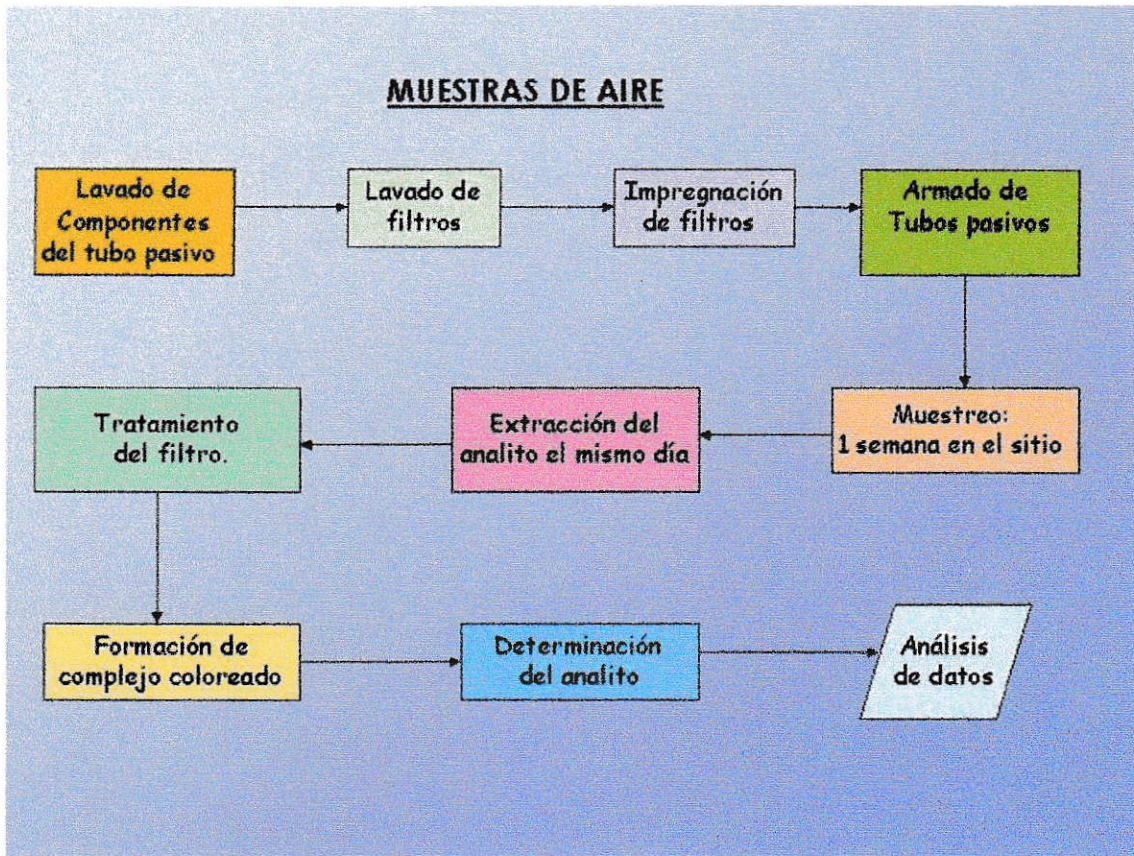


Figura 19. Procedimiento analítico para muestras de aire.

4.2.1 Protocolo de lavado de filtros

- 1) Colocar los filtros en un vaso precipitado tapados con agua destilada durante 30 minutos, sonicar durante 20 minutos.
- 2) Botar el agua y enjuagar dos veces con agua destilada y dos veces con agua desionizada.
- 3) Agregar etanol y ponerlos sobre un vidrio reloj, separados, taparlos con papel parafilm, hacer orificios. Llevar a la desecadora.

4.2.2 Protocolo de lavado de componentes

- 1) Colocar cada componente por separado en vasos precipitados y lavar tres veces con agua destilada y tres veces con agua desionizada.
- 2) En el segundo enjuague con agua desionizada, sonicar durante 5 minutos.
- 3) Agregar etanol a cada vaso cubriendo los componentes, estilar y tapar con parafilm.

4.2.3 Preparación de estándares

Las muestras atmosféricas al tener una concentración menor (mayor efecto de dilución) de amoníaco, deben ser cuantificadas con una curva de calibración de menores concentraciones, si se utiliza la curva para las muestras de agua, existe el riesgo de cuantificar fuera del rango real en que se encuentran las muestras, lo que se traduce finalmente en resultados erróneos.

A partir de una solución de NH_4Cl de concentración 100 ppm se obtuvieron las concentraciones: 0,1; 0,2; 0,3; 0,4 y 0,5 mg / L

En la tabla 6 se describen los volúmenes de disolución que se utilizaron para las distintas concentraciones.

Tabla 6. Volúmenes para la preparación de estándares para muestras de aire.

ppm de NH ₄ Cl	Volumen de NH ₄ Cl de 100 mg / L	Volumen final
0,1	10 µL	10 mL
0,2	20 µL	10 mL
0,3	30 µL	10 mL
0,4	40 µL	10 mL
0,5	50 µL	10 mL

Las soluciones fueron colocadas en celdas de cuarzo de 1cm y posteriormente se midieron sus absorbancias a 640nm.

5. Análisis Estadístico

Una vez obtenidas las concentraciones de amoníaco en ambos componentes, los datos fueron tratados estadísticamente, mediante el Software "STATISTICA", lo que permitió obtener, además de los análisis de varianza, los promedios de las estaciones por fecha y por componentes, además de los promedios de los componentes.

Posteriormente se realizó el análisis de varianza(ANOVA), debido a que se tienen dos tipos de variabilidad: la primera entre los grupos de datos (agrupados por las variables) debido al factor como tal y la segunda se debe a la variabilidad intragrupos, debida a la aleatoriedad.

Por esta razón, para poder afirmar que el factor produce efectos, la variabilidad entre los grupos debe ser significativamente mayor con respecto a la intragrupos.

ANOVA, establece una relación entre las variabilidades entre los grupos e intragrupos, cada uno dividido por el número de grados de libertad, así mediante el valor (F) en su respectiva tabla, determina si hay significancia estadística, para un cierto nivel dado. Si $F > \text{nivel}$, entonces resulta significativa y se puede rechazar la hipótesis nula, es decir, los grupos difieren significativamente.

Para verificar en cuáles interacciónese producen las diferencias, se aplica la prueba de Tuckey a partir de las interacciones que mostraron dichas diferencias.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

1. Validación del método instrumental

1.1 Curva de calibración para muestras de agua

Se construyó una curva de calibración con un rango de concentraciones apropiado a las muestras de agua con las concentraciones descritas en la tabla 5. Como se puede apreciar, el coeficiente de linealidad ($R^2 = 0,9993$) indica una buena linealidad de la curva.

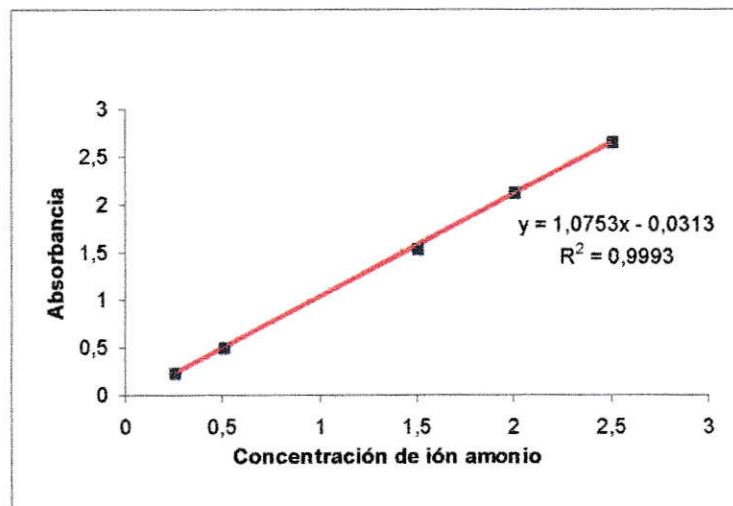


Figura 20. Curva de calibración para muestras de agua

1.2 Curva de calibración para muestras atmosféricas

En esta curva se observa un coeficiente de correlación aceptable ($R^2 = 0.9818$), sin embargo, esto se obtuvo al eliminar varios puntos que afectaban la linealidad, ya que al trabajar con menores concentraciones es más fácil producir errores al momento de hacer las disoluciones.

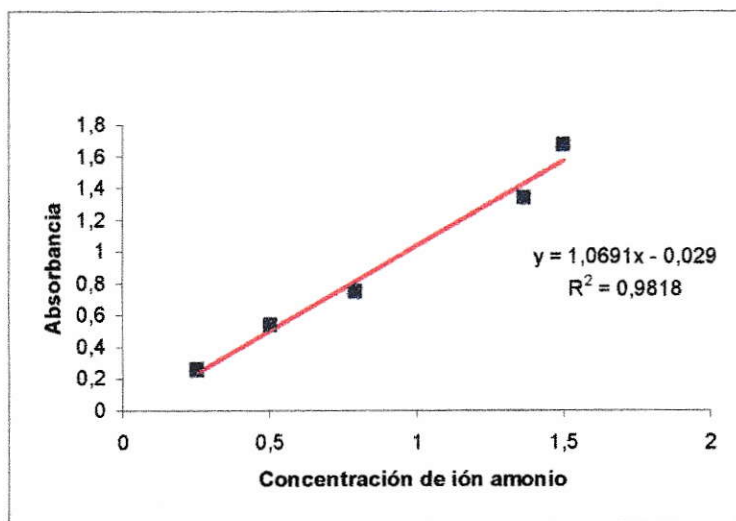


Figura 21. Curva de calibración para muestras de aire.

1.3 Límite de detección

En este trabajo se determinó el límite de detección instrumental que se define como la concentración mínima de compuesto detectada por el instrumento, que puede ser analizada sin la matriz, con una fiabilidad definida y que es estadísticamente distinta a la señal del ruido de fondo producido por el instrumento. Se determinó agregando al estándar del compuesto de interés agua pura o un disolvente adecuado para obtener una concentración 2-10 veces el límite de detección estimado por la literatura y definido para el equipo (Espectrofotómetro de Absorción Perkin Elmer

lambda 11), razón señal / ruido, etc. Esta solución se analizó midiendo 10 veces con el instrumento y se determinó la desviación estándar de las repeticiones. El límite de detección instrumental corresponde a tres veces la desviación estándar de las repeticiones realizadas.

Se realizaron 10 repeticiones de un estándar de 1 mg / L. Los valores, se presentan en la tabla 7.

Tabla 7. Repeticiones de estándar de NH_4^+ de 1 mg / L.

Absorbancia	Concentración de NH_4^+ mg/L
1,2001	1,0807
1,2022	1,0826
1,2022	1,0826
1,2018	1,0822
1,2017	1,0821
1,2011	1,0816
1,2016	1,0821
1,2016	1,0821
1,2013	1,0818
1,2017	1,0821

Límite de detección estimado para el equipo: 0,025 mg / L

Concentración de estándar: 1 mg / L

Desviación estándar de las repeticiones: 0,0058 mg / L

3x desviación estándar : 0,0174 mg / L

1.4 Sensibilidad

La sensibilidad se define como la pendiente de la curva de calibración, que se obtiene al graficar el valor obtenido de la señal analítica versus las concentraciones de los estándares. Esta permite conocer el estado de un sistema analítico y los cambios de condiciones del sistema en el tiempo.

Una buena linealidad de la curva de calibración implica que:

- El equipo se encuentra en buen estado, su lámpara mantiene una estabilidad.
- Los materiales utilizados están en buen estado y el ambiente del laboratorio no está contaminado.
- Los reactivos no se encuentran contaminados.
- En términos espectrofotométricos, el desarrollo de color del complejo es adecuado.

Concentraciones de amoníaco e ión amonio en los componentes agua y atmósfera de la zona de estudio.

Los valores de amoníaco medidos en la atmósfera local de la zona de estudio, las concentraciones de ión amonio y los valores de los parámetros fisicoquímicos medidos en la columna de agua se presentan en el anexo A

2. Concentración de amoniaco atmosférico medido y calculado, ión amonio medido y amoniaco calculado en la columna de agua

A continuación se presentan los valores promedios de ambos componentes, por una parte se tienen valores "medidos" directamente mediante los métodos antes descritos. Por otra parte, se tienen valores que fueron denominados como "calculados" ya que se obtuvieron a partir de las condiciones físico-químicas de la columna de agua y que permitieron calcular la constante de Henry y luego las concentraciones de amoniaco presente en el agua y finalmente qué concentración de éste sería posiblemente emitido a la atmósfera. La estimación de estos valores se definió mediante un modelo de equilibrio estático, en el cual se propone que el agua no se encuentra en movimiento, está a temperatura estándar (25° C) y que no hay ingreso de nuevos materiales en el tiempo, sólo el flujo de amoniaco desde la columna de agua a la atmósfera vecina.

Tabla 8. Concentraciones promedios ambientales y calculadas de amoniaco atmosférico y en la columna de agua y concentración de ión amonio en la columna de agua, por estación y fecha.

Medido				Calculado	
Fecha	Estación	NH ₃ aire ppb	NH ₄ ⁺ agua mg/ L	NH ₃ aire ppb	NH ₃ agua mg / L
13/09/04	Puente Pudahuel	8,0	0,17	1,45	0,003
	Lo Aguirre	5,3	0,75	7,4	0,044
	La Farfana	5,2	4,83	8,1	0,018
	Rinconada	6,0	4,43	11,4	0,023
20/09/04	Puente Pudahuel	5,0	0,16	1,5	0,003
	Lo Aguirre	3,4	1,56	9,8	0,022
	La Farfana	3,2	5,9	13,6	0,025
	Rinconada	6,3	5,5	15,5	0,031
04/10/04	Puente Pudahuel	6,2	0,24	1,9	0,003
	Lo Aguirre	3,7	0,77	2,6	0,005
	La Farfana	5,5	4,6	8,6	0,016
	Rinconada	5,1	4,13	9,6	0,018

En las figuras 22, 23 y 24 se puede observar la comparación de las concentraciones del componente aire de los valores medidos con los valores calculados mediante la constante de Henry, que depende de la temperatura y pH de la columna de agua. Por lo tanto, el valor calculado, corresponde a la concentración de amoniaco que debería ser emitido hacia la atmósfera desde la columna de agua, en

condiciones de equilibrio, suponiendo que no hay interacciones con otros componentes y salida o entrada de material.

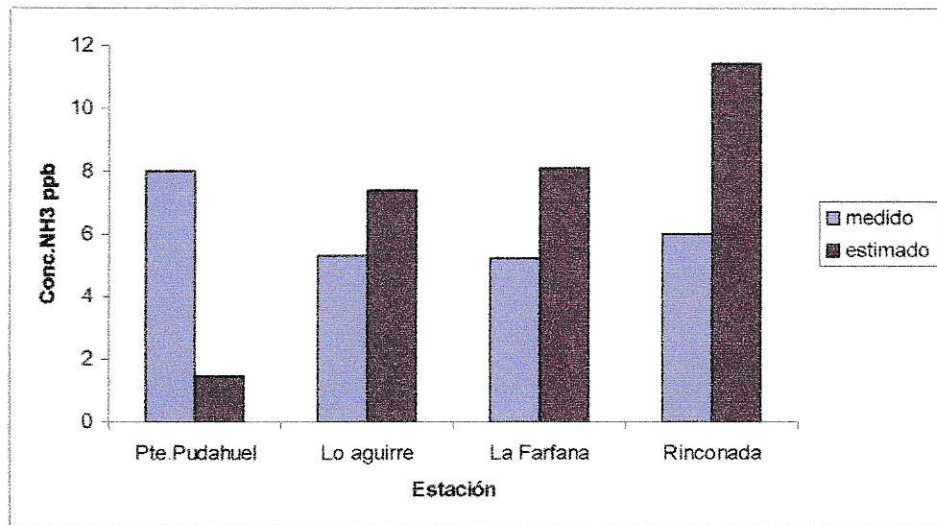


Figura 22. Comparación de concentraciones de amoniaco atmosférico medido y calculado , fecha de toma de muestras 13/09/04.

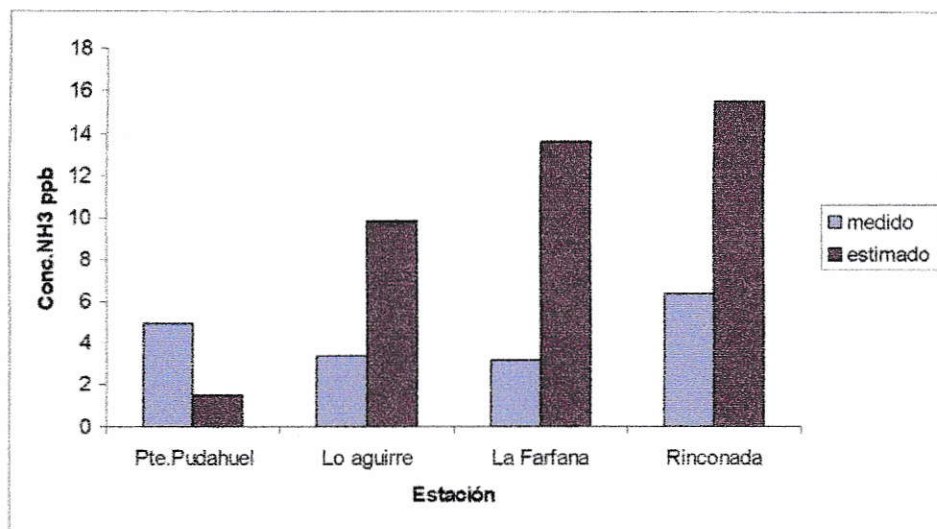


Figura 23. Comparación de concentraciones de NH₃ atmosférico medido y calculado, fecha de toma de muestras 20/09/04.

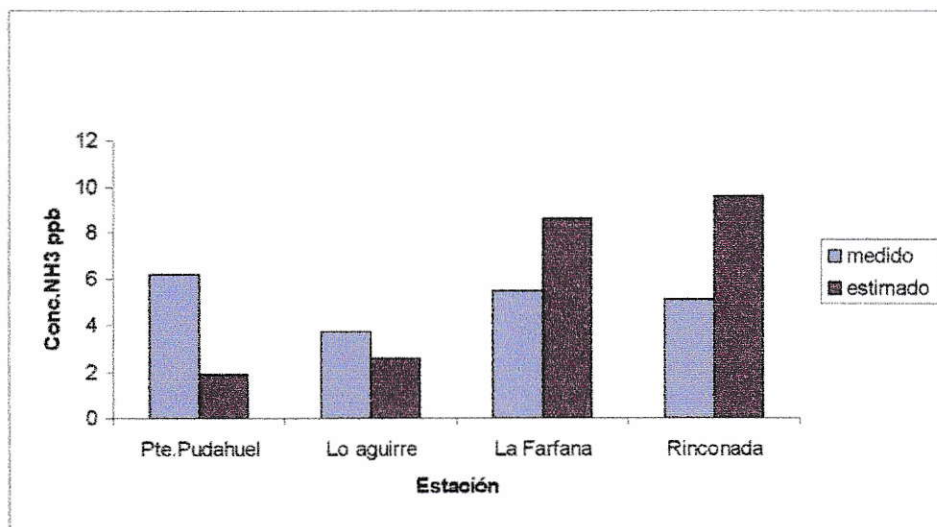


Figura 24. Comparación de concentraciones de amoníaco atmosférico medido y calculado, fecha de toma de muestras 04/10/04.

3. Interacción estación, fecha y componente

En las siguientes tablas se presentan los promedios de las tres variables independientes: estación, fecha y componente.

Tabla 9. Media total de amoníaco (mg / L) calculado a partir de las condiciones fisicoquímicas de la columna de agua por estación y fecha

Estación	NH ₃ (mg /L)	Número de Muestras
Pudahuel Fecha 1	0,003	4
Pudahuel Fecha 2	0,003	4
Pudahuel Fecha 3	0,003	4
Lo Aguirre Fecha 1	0,044	4
Lo Aguirre Fecha 2	0,022	4
Lo Aguirre Fecha 3	0,005	4
La Farfana Fecha 1	0,018	4
La Farfana Fecha 2	0,024	4
La Farfana Fecha 3	0,016	4
Rinconada Fecha 1	0,023	4
Rinconada Fecha 2	0,031	4
Rinconada Fecha 3	0,017	4
Media Total	0,018	48

Tabla 10. Media total de amoníaco en cada componente. Fecha 1 (13/09/04), Fecha 2 (20/09/04), Fecha 3 (04/10/04).

Promedio de NH ₃ (mg/L)	Promedio de NH ₃ (ppb)		Número Total de muestras	Número Total de muestras	Desviación Estándar.	Desviación Estándar.
AGUA	AIRE	p	AGUA	AIRE	AGUA	AIRE
0,018	6,215	1,5E ⁻³⁰	48	64	0,0189	2,67

De la tabla 10 se puede concluir que el promedio de las concentraciones atmosféricas medidas de NH₃ en ppb y el error asociado son los siguientes:

Concentración de NH₃ promedio (ppb)= 6,2 ± 2,7

Tabla 11. Medias y desviaciones estándar de amoniaco medido (ppb) por estación en el componente atmósfera.

Estación	Medias por estación	Estación	Desviación estándar por estación	Número de Muestras
Pudahuel	7,44	Pudahuel	3,2787	16
Lo Aguirre	4,44	Lo Aguirre	1,2788	16
La Farfana	6,23	La Farfana	2,9220	16
Rinconada	6,75	Rinconada	1,9623	16
		Total	2,6745	64

Tabla 12. Medias y desviaciones estándar de amoniaco calculado (mg / L), por estación en el componente agua

Estación	Medias por estación	Estación	Desviación estándar por estación	Número de Muestras
Pudahuel	0,003	Pudahuel	0,0011	12
Lo Aguirre	0,024	Lo Aguirre	0,0338	12
La Farfana	0,019	La Farfana	0,0043	12
Rinconada	0,024	Rinconada	0,0069	12
Total	0,018	Total	0,0189	48

Con respecto al componente agua la mayor concentración medida de ión amonio se registró en la fecha 2, correspondiendo a 5,9 mg / L , en el componente aire la mayor concentración de amoniaco se midió en la fecha 1 (8,0 ppb). La fecha 1 corresponde a 13/09/04, la fecha 2 a 20/09/04 y la fecha 3 a 04/10/04.

4. Análisis de Varianza y aplicación de Prueba de Tuckey

A continuación en la tabla 13 se muestra el resumen de los análisis de varianza realizados entre todas las variables: estación, fecha y componente para las concentraciones de amoniaco encontradas.

Tabla 13. Análisis de Varianza para todas las variables: estación, fecha y componente.

ANOVA 3 vias 2x3x4					
1-ESTACION, 2-FECHA, 3-COMPONENTE					
	df	MS Effect	MS		
	Efecto		Error	F	p-level
1	3	5,9617095	1,65211046	3,608541727	0,084808677
2	2	6,38210964	0,47081393	13,55548191	1,0083E-05
3	1	663,797424	6,33395815	104,7997742	0,009407567
12	6	1,65211046	0,47081393	3,5090518	0,004220257
13	3	6,12854385	1,62979186	3,760323048	0,078661256
23	2	6,33395815	0,47081393	13,45320892	1,08615E-05
123	6	1,62979186	0,47081393	3,461647511	0,004625137

* Los valores en rojo indican $p < 0,05$, esto implica que existen diferencias significativas en la interacción.

Tabla 14. Prueba de Tuckey para interacción entre fechas para la variable concentración de NH₃.

FECHA	Fecha 1	Fecha 2	Fecha 3
Promedio de NH ₃ (ppb)	3,13	2,24	2,57
Fecha 1		0,00011611	0,00500894
Fecha 2	0,00011611		0,14727086
Fecha 3	0,00500894	0,14727086	

* Los valores en rojo indican $p < 0,05$, esto implica que existen diferencias significativas en la interacción.

Tabla 15. Prueba de Tuckey para la interacción fecha-componente.

INTERACTION: 2 x 3	PROMEDIOS DE COMPONENTES POR FECHA				
	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}
	0,0220048	6,232990	0,0203599	4,468577	0,0106537
AGUA FECHA 1 {1}		0,00012785	1	0,00012785	0,99999994
AIRE FECHA 1 {2}	0,00012785		0,00012785	0,00012785	0,000127852
AGUA FECHA 2 {3}	1	0,00012785		0,00012785	1
AIRE FECHA 2 {4}	0,00012785	0,00012785	0,00012785		0,000127852
AGUA FECHA 3 {5}	0,99999994	0,00012785	1	0,00012785	
AIRE FECHA 3 {6}	0,00012785	0,00041801	0,00012785	0,08345973	0,000127852

* Los valores en rojo indican $p < 0,05$, esto implica que existen diferencias significativas en la interacción.

Tabla 16. Prueba de Tuckey para la interacción estación-fecha.

INTERACCIÓN: 1 x 2												
	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}	{8}	{9}	{10}	{11}	{12}
NH ₃ promedio (ppb) de estaciones por fechas	2,66	1,72	1,85	3,98	2,50	3,12	2,86	1,60	2,77	3,00	3,16	2,53
Lo Aguirre Fecha 1 {1}		0,22759	0,43546	0,0133	0,9999	0,9712	0,9999	0,1022		0,9977	0,9522	0,99999
Lo Aguirre Fecha 2 {2}	0,22759777		0,99999	0,0001	0,5188	0,0061	0,0572	0,9999	0,1137	0,0187	0,0044	0,44530
Lo Aguirre Fecha 3 {3}	0,43546617	0,99999		0,0001	0,7640	0,0192	0,1423	0,9998	0,2525	0,0533	0,0142	0,69584
Pudahuel Fecha 1 {4}	0,01333213	0,00011	0,00011		0,0027	0,3593	0,0707	0,0001	0,0338	0,1804	0,4213	0,00395
Pudahuel Fecha 2 {5}	0,9999975	0,51889	0,76402	0,0027		0,7976	0,9948	0,2935	0,9996	0,9441	0,7393	1
Pudahuel Fecha 3 {6}	0,97120142	0,00612	0,01920	0,3593	0,7976		0,9998	0,0019	0,9966	0,9999	1	0,85366
La Farfana Fecha 1 {7}	0,99998456	0,05728	0,14232	0,0707	0,9948	0,9998		0,0207	1	0,9999	0,9993	0,99800
La Farfana Fecha 2 {8}	0,1022535	0,99999	0,99986	0,0001	0,2935	0,0019	0,0207		0,0452	0,0061	0,0013	0,23853
La Farfana Fecha 3 {9}	1	0,11374	0,25255	0,0338	0,9996	0,9966	1	0,0452		0,9999	0,9927	0,99991
Rinconada Fecha 1 {10}	0,99777484	0,01870	0,05332	0,1804	0,9441	0,9999	0,9999	0,0061	0,9999		0,9999	0,96726
Rinconada Fecha 2 {11}	0,95224953	0,00445	0,01424	0,4213	0,7393	1	0,9993	0,0013	0,9927	0,9999		0,80314
Rinconada Fecha 3 {12}	0,99999982	0,44530	0,69584	0,0039	1	0,8536	0,9980	0,2385	0,9999	0,9672	0,8031	

- Los valores en rojo indican $p < 0,05$, esto implica que existen diferencias significativas en la interacción.

5. Concentración atmosférica de amoníaco medido en los filtros

Con respecto a las concentraciones de amoníaco del componente aire (Figuras 25, 26 y 27), determinadas mediante el uso de tubos pasivos, no se puede observar un patrón de comportamiento, puesto que las distribuciones en cada fecha son diferentes.

Figura 25. Concentración ambiental de amoníaco en tubos pasivos. Muestreo 13/09/04

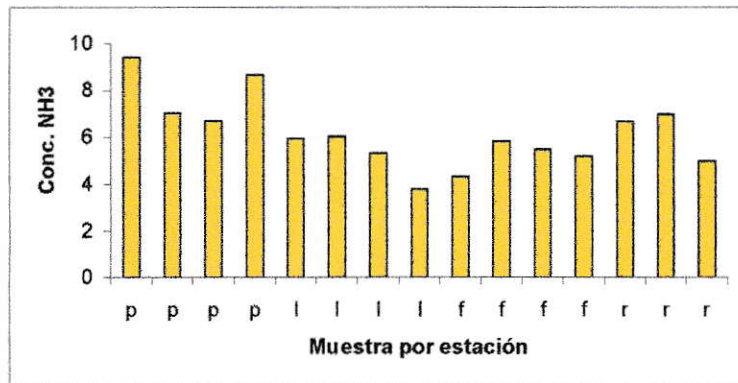


Figura 26. Concentración ambiental de amoníaco en tubos pasivos. Muestreo 20/09/04

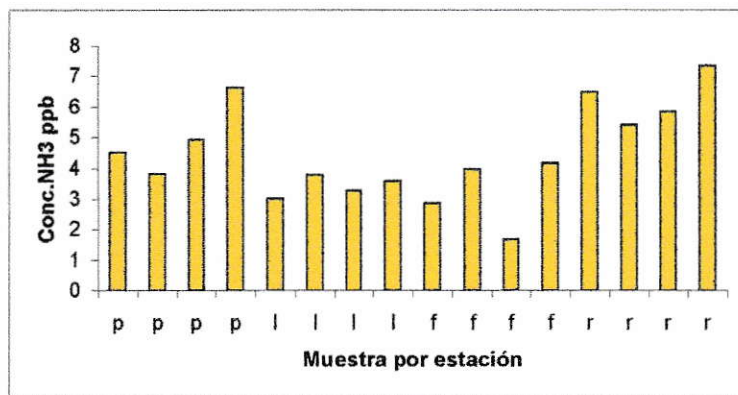
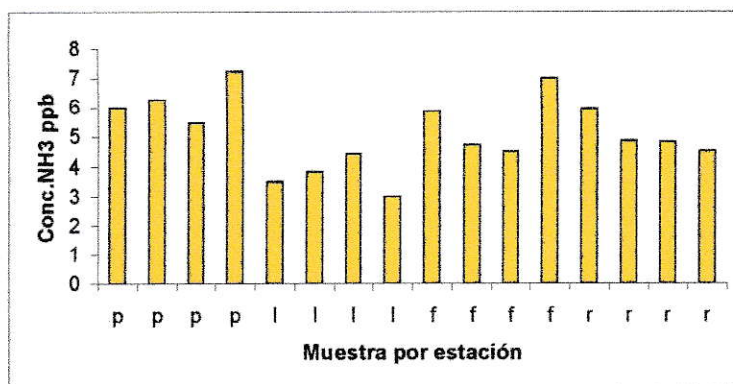


Figura 27. Concentración ambiental de amoniaco en tubos pasivos. Muestreo 04/10/04



6. Resultados de otros trabajos

Tabla 17. Medidas de concentraciones de amoniaco en otros trabajos. Extraída de "Monitoreo Pasivo de Amoniaco en la Región Metropolitana" (Koutrakis, 1998).

Localización	Periodo	N (muestras)	Rango de concentración (ppb)	Referencias
Area de Philadelphia	1992-1993	780	0,6-3,9	Suh y col, 1995
Area de Boston	1994	10	0,74-2,51	Siuotas y col, 1996
Area de Mt. Mitchell	1989	-	1,6-2,1	Aneja y col, 1998

Tabla 18. Muestreo pasivo de NH₃ realizado en "Monitoreo Pasivo de Amoniaco en la Región Metropolitana" (Koutrakis, 1998).

Lugar	Concentración media ppb 1 ^{era} Semana (30 Oct- 6 Nov)	Concentración media ppb 2 ^{da} Semana (5 Nov- 13 Nov)
Buín	10,3	14,0
Colina	10,1	5,6
Talagante	12,9	13,6
Peldehue	3,0	7,4
Huechuraba	16,0	11,7
San Joaquín	14,4	12,5
Maipú	13,5	11,7
Renca	12,5	15,1
Vitacura	14,2	11,6
San Bernardo	26,5	20,9
La Cisterna	12,9	12,3
Quilicura	16,6	12,7
Santiago Centro	15,7	13,7
Red Macam		
Tabancura	15,7	13,8
Recoleta	15,4	12,4
Cerrillos	18,1	15,8
Santiago	18,0	11,2
Pudahuel	17,3	8,7
La Florida	16,6	12,3
El Bosque	22,9	15,2
La Dehesa	12,1	5,2
Red Sueca		
La Florida	14,9	12,9
La Pintana	22,8	14,0
Red de Vigilancia		
Nuñoa	18,8	10,0
La Pintana	38,2	26,7

Los valores marcados en amarillo sobrepasan la norma de exposición (8 horas) en ambientes de trabajo dispuesta en Estados Unidos.

Se calculó el promedio de la concentración de amoniaco para ambas semanas de muestreo y posteriormente se determinó el error de la medición.

Tabla 19. Media y error de la concentración de amoniaco calculada para los valores determinados en la ciudad de Santiago "Monitoreo Pasivo en la Región Metropolitana"

Semana	Media	Desviación Estándar (ΔV)	Error
1 ^{era}	17,1	6,5	17,1 \pm 6,5
2 ^{da}	12,8	4,1	12,8 \pm 4,1

7. Determinación de amoniaco atmosférico en distintos puntos de la Ciudad de Santiago

A continuación en la tabla 20, se muestran concentraciones de amoniaco medidas en un estudio realizado en Julio del 2004, durante un periodo de 1 semana en el laboratorio del Centro de Química Ambiental, realizado con tubos pasivos y los mismos reactivos de impregnación de filtros, extracción del analito y técnica de análisis, con los que se realizó el presente estudio.

Tabla 20. Muestreo en la ciudad de Santiago. Julio 2004.

Estación	Concentración de NH ₃ (ppb)
Peñalolén	4,7
Nuñoa	5,1
Las Condes	4,1
El Bosque	6,0
Lo Barnechea	1,8
Lo Prado	5,3

Se calculó el promedio de la concentración de amoniaco para el muestreo y posteriormente se determinó el error de la medición para estos valores.

Tabla 21. Media y error de las concentraciones de NH_3 determinadas en Muestreo de la Ciudad de Santiago.

Semana	Media	Desviación Estándar (ΔV)	Error
1 ^{era}	4,5	0,4	4,5 \pm 0,4

8. Estudios utilizados para el chequeo de este trabajo

Otro estudio con el cual se comparó el presente trabajo, fue el realizado en la bahía de Chesapeake en Estados Unidos, en él también se midió la emisión de amoniaco desde la columna de agua hacia la atmósfera, en la tabla 22 se muestran las concentraciones promedios de amoniaco atmosférico e ión amonio en el agua que se obtuvieron.

Tabla 22. Concentraciones de NH_3 y NH_4^+ medidas en la bahía de Chaesapeake.

	Concentración de NH_3 atmosférico (ppb)
Urbano	2,7 \pm 1,7
Rural	1,0 \pm 0,8
Rango de Concentración de NH_4^+ en el agua mg/L	0,003 a 0,217

A continuación se muestran valores de concentraciones de ión amonio medidas por ANAM (Laboratorio de Análisis Ambientales), en Junio del 2003.

Tabla 23. Mediciones realizadas por ANAM. Junio 2003. En el sector Poniente del Río Mapocho.

Estación	Concentración de NH_4^+ mg/L
Puente Pudahuel	1,92
Lo Aguirre	1,45
La Farfana	2,75
Rinconada de Maipú	4,93

DISCUSIÓN

1. Aproximación General

Para realizar este estudio se eligió trabajar con la especie amoniaco y su intercambio entre los componentes agua y atmósfera del ecosistema, dicha elección se fundamenta en el ciclo del nitrógeno, en el cual forma parte la materia orgánica que es una de las fuentes de descarga importante en el río Mapocho.

Para comprender los alcances del análisis que se ha realizado a este sistema, es necesario definir las escalas en las que se basa, según el tiempo y espacio en que ocurren los distintos fenómenos en él. Los estudios ambientales son complejos ya que usualmente se desarrollan y transponen en distintas escalas de espacio-tiempo, el proponer un modelo particular al fenómeno en estudio, permite simplificar y aproximar las características más relevantes del sistema y así dar respuesta y soluciones a problemas de diversa índole. Sin embargo, el intercambio de información entre estos niveles se encuentra restringido debido a que las variables que determinan al sistema, los afectan de manera distinta.

En este caso la hipótesis está planteada en una escala que corresponde a un sector del río, específicamente en la atmósfera cercana a la superficie del río, así el alcance de este estudio se limita al área descrita y no permite hacer afirmaciones de la influencia de la emisión de amoniaco del río, en toda su extensión y en consecuencia a la atmósfera completa de la zona.

Las extracciones de muestras de agua se realizan en una escala menor que lo descrito anteriormente, correspondiendo a una parte más específica del sector del río. Por su parte, la extracción de amoniaco de la atmósfera se realiza en 2 niveles

simultáneamente: la captura de aire mediante el tubo pasivo en la atmósfera cercana a la superficie del río, y por otra parte, a nivel molecular ya que en el filtro del tubo se produce la reacción química entre el reactivo adsorbido a él y el amoníaco presente en el aire.

Es a escala molecular que se realiza la aproximación química de este trabajo, puesto que si bien, la hipótesis se planteó en un nivel superior, el fundamento químico, es decir, reacciones, mecanismos y procesos ocurren a escala molecular.

Las diferencias intrínsecas entre los niveles conllevan al observador a cometer errores en su proyección a escalas superiores, particularmente en estudios ambientales. De esta forma es necesario conocer los fundamentos a distintas escalas.

Con respecto a la hipótesis planteada, según los valores de las variables que se observaron en la columna de agua, se puede afirmar que se favorecen las condiciones para que, por una parte, el equilibrio amoníaco / ión amonio esté desplazado hacia la formación de amoníaco y que por otra, esta especie sea emitida hacia la atmósfera.

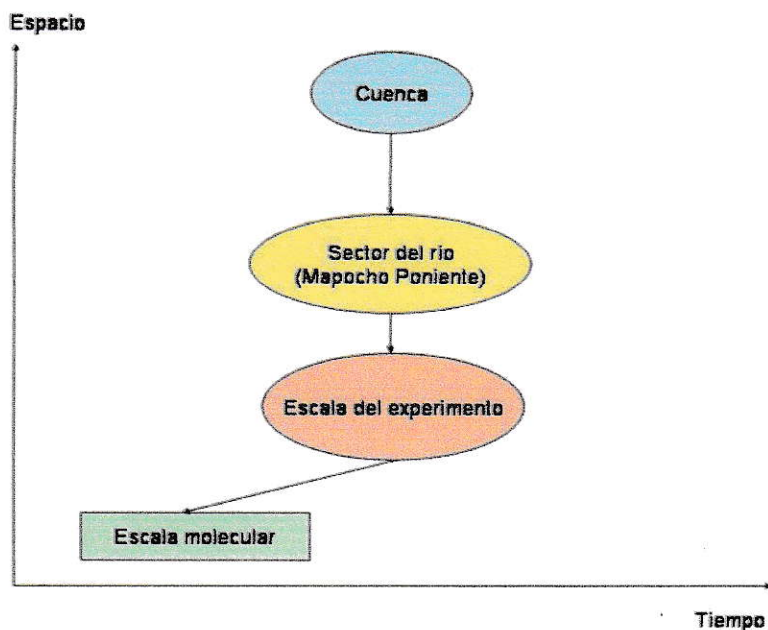


Figura 28. Escalas espacio-tiempo en que ocurren los distintos fenómenos de este estudio.

Por esta razón, el enfoque se basó en el ciclo biogeoquímico del Nitrógeno, que también está estrechamente ligado a la materia orgánica. Una vez situados en este ciclo se debía establecer a priori cuál era la especie predominante en las condiciones del ecosistema río Mapocho, resultando el amoníaco como la especie de mayor interés para nuestro objeto de análisis.

Finalmente nos centramos en el intercambio de la especie entre la columna de agua y la atmósfera cercana, ya que coincide que en esta zona se registran generalmente los más altos índices de contaminación por material particulado en días de episodios.

2. Condición ambiental del río Mapocho

Los riles y las aguas servidas son las principales fuentes de contaminación de los ríos más importantes de la Región Metropolitana. Los mayores cauces receptores de estas aguas son el Zanjón de la Aguada y el río Mapocho. Los sectores de mayor vulnerabilidad están localizados en las zonas bajas de los ríos Maipo y Mapocho. Esto queda de manifiesto con las concentraciones de oxígeno disuelto disponible, donde se observa una tendencia decreciente aguas abajo de Rinconada de Maipú, donde se produce un mínimo, encontrándose incluso en condiciones anaeróbicas. A partir de este punto comienza a recuperar su nivel de oxígeno. Lo mismo sucede con la DBO que muestra una tendencia creciente con un máximo entre 80 y 145 mg / L en sectores del puente Pudahuel y Rinconada de Maipú. Esta situación se explica por el gran volumen de descargas de aguas sin tratamiento y por los procesos de autopurificación del río. (CONAMA RM, web)

La contaminación de los cauces superficiales tiene su principal origen en:

- Descargas directas de aguas domésticas y de residuos industriales líquidos (riles) sin previo tratamiento.
- Descargas derivadas de actividades agrícolas o forestales, que llegan de forma indirecta a las masas o corrientes de agua.

El Zanjón de la Aguada y el río Mapocho reciben, en forma directa, más de un 60% y 35%, respectivamente, del total de aguas servidas de la región. Debido a esto su principal contaminación se produce por coliformes fecales. Además de las aguas servidas, los riles contribuyen a aumentar la carga orgánica del sistema a través de descargas directas a los cauces o descargas al alcantarillado. Los coliformes fecales

pueden venir acompañados de microorganismos patógenos y dañinos para la salud, limitan los usos de agua potable, riego y recreación. Fuerte incremento aguas abajo del puente Pedro de Valdivia hasta valores entre 104 y 106 org/100 mL, en aumento hacia puente Pudahuel y Rinconada de Maipú. A partir de estos puntos la concentración decae, pero en la desembocadura aún se detectan altos contenidos (CONAMA RM, 2004).

Todo lo expuesto anteriormente, indica que la zona de estudio que contempla desde el sector de Lomas de Lo Aguirre hasta el sector de Rinconada de Maipú, es la que presenta mayores problemas en términos ambientales.

3. Evaluación del método de muestreo

El estudio de la presencia de amoníaco en la atmósfera presenta limitaciones básicamente relacionadas con su cuantificación por una parte, debido a su adsorción en superficies y la dificultad que presenta para separarlo de sales de amonio volátiles y por otra, que se deben tener numerosos puntos de medidas para obtener una aproximación representativa y exacta de la distribución de amoníaco (Koutrakis, 1998). Sin embargo, el monitoreo atmosférico mediante el uso de tubos pasivos OGAWA se justifica por su bajo costo, fácil manipulación y por su apropiado diseño para este tipo de muestreos en lugares de difícil acceso.

3.1 Aspectos metodológicos

Una vez elegido el tipo de muestreo a analizar, en este caso de tubos pasivos OGAWA PSD, el tema principal de preocupación era encontrar una técnica analítica apta para el estudio de los dos componentes simultáneamente. El método de formación del compuesto azul de indofenol se ajusta bastante bien ya que es simple y barato considerando el número apreciable de muestras para analizar que se requerían para un buen estudio.

Se puso énfasis durante todo el estudio, a las condiciones y cuidados que se debían tener para la propia seguridad (reactivos peligrosos) y para la buena calidad del trabajo (ambientes limpios, rigurosos protocolos de lavado de materiales y filtros).

Una dificultad en términos de antecedentes fue encontrar trabajos orientados hacia esta pregunta que se enfocaran en el análisis de emisiones de amoníaco desde una columna de agua hacia la atmósfera. En general se podía apreciar que la mayoría de los estudios se referían a intercambios de esta especie entre el suelo y la atmósfera y en una menor parte entre agua y aire, pero referidos a sistemas oceánicos. Sin embargo uno de los trabajos encontrados: "Monitoreo Pasivo de Amoníaco en la Región Metropolitana" (Koutrakis, 1998), proyecto piloto que formó parte de un estudio denominado "Análisis Químico de Material Particulado Orgánico en la Región Metropolitana de Santiago" realizado para CONAMA, será utilizado para la comparación con este trabajo en cuanto a valores y procedimientos.

4. Emisiones de Amoniac a la Atmósfera

En cuanto al análisis del sistema por medio de las mediciones que se realizaron de las variables fisicoquímicas de la columna de agua del río, se pudo corroborar que en general las condiciones se mantienen constantes en la zona de estudio, si bien algunas variaciones, se observan patrones de carácter homogéneo en términos de pH, temperatura y conductividad, como se observa en las figuras 30, 31 y 32 respectivamente (Anexo A).

Mediante el análisis estadístico ANOVA de 3 variables (tabla 13) se pueden relacionar la estación, fecha y componentes simultáneamente. De esta tabla se puede concluir lo siguiente:

- Al comparar las estaciones entre sí, no se observan diferencias significativas.
- Entre las fechas sí hay diferencias, es decir hay cambios temporales.
- Entre los componentes también se observan diferencias significativas.
- En la interacción estación-fecha si se observan diferencias significativas, es decir hay cambios en las concentraciones de amoniac presentes en el sistema en el tiempo.
- En la interacción estación-componente no hay diferencias significativas, esto significa que no hay efectos estadísticos, la estación no afecta a los componentes.
- Interacción fecha-componente muestra que si hay diferencias significativas, en este caso la fecha afecta a las concentraciones de amoniac encontradas en los componentes.

- Finalmente al comparar las 3 variables se observan diferencias significativas.

Al aplicar la prueba de Tuckey para las interacciones entre las fechas Tabla 14 se observa que:

- El efecto es producido por las diferencias que hay entre las fechas 1 y 2.
- No se encontraron diferencias significativas entre las fechas 1 y 3, 2 y 3.

En la tabla 15 se resume la prueba de Tuckey aplicada a las interacciones fecha-componente se observa que:

- Al comparar el componente agua entre las fechas no hay diferencia significativa, es decir no se produce efecto del tiempo sobre el componente agua.
- En el componente aire, hay efectos del tiempo significativos en todas las fechas.
- Al comparar ambos componentes por fecha, se observan diferencias significativas, hay un efecto del tiempo en la interacción agua-aire.

Finalmente se aplicó la prueba de Tuckey para la interacción estación-fecha (tabla 16)

.Al comparar una estación en distintas fechas se obtiene que:

- Lo Aguirre no presenta diferencias significativas.
- La estación Puente Pudahuel presenta diferencias entre las fechas 1 y 2.

En las figuras 25, 26 y 27 pueden observarse las concentraciones de amoniaco ambientales obtenidas a partir de los tubos pasivos, no se aprecia con facilidad algún patrón, hay bastante variación, lo que es de esperar debido a la dinámica de este

componente. Por otra parte se agrega la variabilidad producida por el método de análisis, que en este trabajo quedó por debajo del 15% que es el valor límite aceptado para esta técnica, según lo recolectado en literatura, esto queda demostrado en los blancos que se obtuvieron, donde se eliminaron los valores que estaban por debajo el límite de detección (0,005 mg / L) y aquellos que eran mayores a 3 veces la desviación estándar (tabla 24).

Los blancos para las muestras de agua reflejaron la poca variabilidad del componente agua, lo cual ha quedado demostrado tanto en las mediciones de parámetros fisicoquímicos como en las mediciones de amoniaco (tabla 28).

En la tabla 8 es posible observar que en la columna de agua la especie que es medida es el ión amonio, que en realidad corresponde a ión amonio total, definido en la ecuación 10 y debido a que coexisten en la solución ambas especies amoniaco e ión amonio. Por esta razón al compararlos con las concentraciones de amoniaco calculadas considerando las condiciones del sistema, estas últimas tienen valores menores, lo que es de esperar ya que corresponde sólo a una fracción del ión amonio total medido.

Al comparar la concentración de amoniaco medido y calculado atmosférico, se observan 2 situaciones: por una parte, los valores calculados son mayores que los medidos, y por otra se produce lo contrario en la estación Puente Pudahuel, en todas las fechas, y la estación Lo Aguirre para la fecha 3.

En general se puede decir que se espera que los valores calculados sean mayores, debido a que se considera el sistema como ideal, cerrado y con flujo laminar, en el que no se producen interacciones de las especies amoniaco e ión amonio con otras especies ya que sólo se encuentran ellas en la solución interaccionando entre sí. En la emisión de amoniaco desde la columna de agua hacia la atmósfera, no hay

disipación puesto que se trata de un sistema cerrado, por lo que supone que todo el amoníaco que traspasa la interfase se considera como emisión.

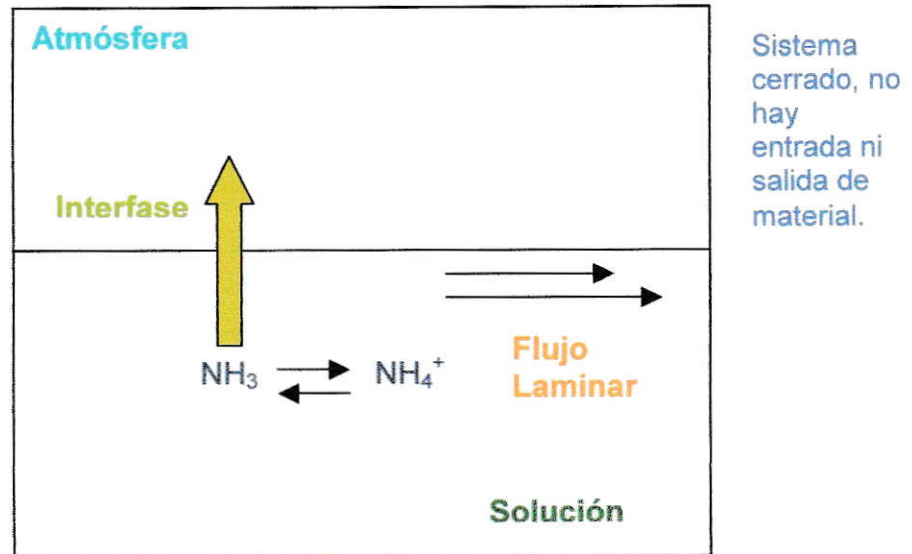


Figura 29. Modelo ideal del sistema utilizado para el cálculo de amoníaco en la columna de agua y posteriormente en la atmósfera.

Durante las 3 semanas en que se realizó el muestreo, en la estación Puente Pudahuel se observó que sólo a unos metros del punto donde eran extraídas las muestras, se realizaban trabajos que consistían entre otros procedimientos, en airear las aguas mediante el uso de bombas. Esto aumentaría las concentraciones de oxígeno y por ende, produciría la disminución de las condiciones anóxicas preexistentes y que las condiciones fisicoquímicas y biológicas no fueran las más aptas para la formación de las especie amonio /amoníaco, por lo que se puede concluir, que el efecto provocado por el bombeo de aire a una parte de la columna de agua afecta sólo localmente la concentración de ión amonio medido y por ende, la concentración de amoníaco

atmosférico calculado a partir de las condiciones del sistema, pero no corresponde al comportamiento general en que se espera que la concentración de amoniaco calculado sea mayor al medido.

Se ha propuesto un modelo de las variables que actúan sobre el sistema y que afectan positiva o negativamente la emisión de amoniaco desde el componente agua hacia la atmósfera. La naturaleza geológica favorece condiciones alcalinas, debido a las características fisicoquímicas de las rocas que sustentan al río, desplazando el equilibrio hacia la formación de amoniaco. Por su parte, el ingreso de materia orgánica en exceso produce una disminución del potencial redox, traducándose en una disminución del pH. La geomorfología de la zona de estudio favorece la disminución del contenido de oxígeno, debido a la baja turbulencia, que impide un intercambio con la atmósfera. Por esta razón, en el modelo se observa que si hay oxígeno hay una tendencia hacia un pH neutro o alcalino.

En conclusión, un pH neutro o alcalino favorece la formación de amoniaco, que a su vez se origina en sistemas principalmente de carácter anóxicos.

La Planta de Tratamiento La Farfana funciona en base a dos tipos de tratamientos: primario que corresponde a una separación física de residuos de mayor volumen y posteriormente uno de tipo secundario, en el que se degradan los compuestos orgánicos a dióxido de carbono por efecto bacteriano, como consecuencia se disminuye casi en un 90% la DBO. Sin embargo este tratamiento no es efectivo para compuestos inorgánicos, en especial, nitratos, fosfatos e ión amonio. Estos iones solubles, deben ser eliminados mediante un tratamiento terciario, que consiste en reacciones químicas adicionales, que en particular el ión amonio se transforma a la

forma volátil amoniaco por aumento del pH con cal, posteriormente con el objeto de reprecipitar la cal, se disminuye el por adición de dióxido de carbono.

5. Comparación de resultados experimentales de amoniaco con otros estudios previos

La tabla 19 informa que la concentración de amoniaco atmosférica promedio medida por el informe realizado por Koutrakis fue de $17,1 \pm 6,5$ ppb para la primera semana de muestreo (30 Oct-6 Nov) y $12,8 \pm 4,1$ ppb para la segunda (5 Nov-13 Nov), en comparación con el presente trabajo donde la concentración promedio de amoniaco fue $4,5 \pm 0,4$ ppb. La diferencia entre las magnitudes puede ser comparada con el Muestreo en la Ciudad de Santiago realizado en julio del 2004 (tabla 20), en el que las concentraciones son menores a las encontradas por Koutrakis y valores tales como el de la Estación de Lo Barnechea es más representativo de la realidad, donde se esperan valores bajos de amoniaco, lo cual se contrapone con la concentración medida por Koutrakis para esta misma zona (La Dehesa) de 12,1 y 5,2 ppb. Por lo tanto podemos asumir que las concentraciones medidas por el trabajo realizado por Koutrakis se encuentran sobrestimadas, a pesar de que fueron realizadas un mes después que las de este trabajo y aún cuando pueden asumirse condiciones meteorológicas más cálidas que favorecen la emisión de amoniaco desde fuentes naturales o antrópicas, por otra parte, tampoco tienen consistencia con los datos internacionales mostrados en la tabla 17, que describen concentraciones de amoniaco atmosférico de ciudades de mayor magnitud que la ciudad de Santiago. En este aspecto, las concentraciones de amoniaco descritas en la tabla 20, se acercan a las medidas en otras ciudades (tabla 17).

Las concentraciones de amoniaco atmosférico encontradas en el trabajo realizado en la Bahía de Chesapeake (tabla 22), constituyen una comparación importante, ya que también se trata de un estudio de la emisión de esta especie desde la columna de agua hacia la atmósfera. Las concentraciones de ión amonio encontradas en el agua de esta bahía son menores en comparación con las encontradas en el Río Mapocho en la zona de estudio, esto se debe a que este último tiene un volumen menor integrado principalmente por residuos domiciliarios líquidos.

En cuanto al rango de las concentraciones de amoniaco medidas, el valor mínimo fue 0,77 ppb medido en Lo Aguirre y en el valor máximo existe una discrepancia ya que si bien la concentración más alta encontrada es 26,07 ppb, este valor se aleja aproximadamente 5 veces del filtro ubicado en el otro extremo del mismo tubo, lo que induce a pensar que se debió a un error producido por contaminación del filtro en alguna etapa del procedimiento analítico. Si no se considera este valor, la concentración de amoniaco encontrada más alta es 18,18 ppb, correspondiendo a la estación ubicada en el Puente Pudahuel.

Las concentraciones encontradas a orillas del Río Mapocho son mayores que las encontradas en otros puntos de la ciudad de Santiago, esto es esperable si se considera al río como una fuente de emisión de amoniaco.

En la información recopilada no se encontraron normas de emisión de amoniaco, sin embargo, se encontraron normas de exposición (8 horas) en ambientes de trabajo (Anexo I). Dichas normas no pueden ser utilizadas para la comparación con las concentraciones ambientales de amoniaco determinadas a orillas del río Mapocho ya que las normas corresponden a valores en el orden de ppm y las de este trabajo son del orden de ppb.

CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos, se puede concluir que el río Mapocho en la zona que se enfocó el estudio, presenta un comportamiento homogéneo en cuanto a variables como pH, conductividad, temperatura y tipo de flujo (laminar).

Si se considera la concentración de amoníaco total, incluyendo ambos componentes, las estaciones que presentan mayores concentraciones son: La Farfana y Rinconada. La estación Puente Pudahuel presenta la menor concentración.

En la interacción estación – componente no se observan efectos significativos, entonces se puede afirmar que la estación no afecta las concentraciones que se encontraron en los componentes. En el componente aire, la mayor concentración promedio se encontró en la estación Puente Pudahuel y la menor en la estación Lo Aguirre.

Para el componente agua, la mayor concentración promedio se encontró en la estación Rinconada de Maipú y la menor en Puente Pudahuel.

Se tiene entonces, que la estación Puente Pudahuel tiene la más alta concentración de amoníaco atmosférico y la menor en el agua, esto significa que por las condiciones del sistema, esta especie emigra rápidamente hacia la atmósfera y no se queda retenido en el agua por esta razón se encuentra una baja concentración.

En general, las medias de ambos componentes por separado, tienen una baja variabilidad en el tiempo, lo mismo ocurre al tomar a ambos por estación. Las estaciones presentan medias totales con poca variabilidad.

No se puede afirmar con claridad que hay una relación directa entre la concentración de amoníaco en uno o en otro componente, ya que existen otras

variables que deben ser consideradas, que no fueron medidas en este trabajo, para hacer una afirmación de esta naturaleza. Sin embargo, se pudo comprobar que el río Mapocho es una de las fuentes principales de amoníaco, debido a la gran cantidad de materia orgánica que ingresa al sistema y es degradada, siendo éste uno de sus productos fundamentales.

En el componente aire, existen diferencias significativas de las concentraciones de amoníaco en el tiempo. En cambio los valores de amoníaco medidos en el agua no presentan diferencias significativas en el tiempo.

Considerando en el sistema, parámetros tales como: pH básico, temperaturas moderadas, bajo ingreso de Oxígeno y a su vez un alto consumo de éste debido a procesos bacterianos, se puede afirmar que se favorece la emisión de amoníaco a la atmósfera. Por esta razón, el modelo de la figura 1 es una buena aproximación a la conducta del río respecto a los flujos entre la columna de agua y la atmósfera local en el río Mapocho Poniente.

Globalmente, las estaciones en el área de estudio son iguales, a pesar de tener algunas diferencias en los componentes, lo que significa que la conducta del todo el sector se mantiene dentro de ciertos límites y en consecuencia, se puede pensar que es válido tratarlo como un único ecosistema, desde el punto de vista la emisión de amoníaco a la atmósfera.

En el componente atmósfera, al comparar los valores de amoníaco experimentales obtenidos en este estudio, con los de otro trabajo: "Monitoreo Pasivo de Amoníaco en la región Metropolitana" (Koutrakis, 1998), realizado con el mismo tipo de tubos pasivos, se concluye que las concentraciones de dicha especie son aceptables considerando los alcances y limitaciones del diseño de nuestro estudio, discutidas anteriormente, sin embargo, el estudio realizado por Koutrakis no tiene consistencia al

compararlo con los datos obtenidos en este trabajo y con los datos internacionales. En este aspecto, las concentraciones de amoniaco e ión amonio informadas en el trabajo realizado en la Bahía de Chesapeake, resultan adecuados para la comparación con nuestros resultados. Por otra parte, las concentraciones encontradas a orillas del Río Mapocho ($6,2 \pm 2,7$ ppb) son mayores que las encontradas en otros puntos de la ciudad de Santiago ($4,5 \pm 0,4$ ppb), esto es esperable si se considera al río como una fuente de emisión de amoniaco, sin embargo, es importante notar que la diferencia entre ambas concentraciones promedio no es notable ya que no entregan información acerca del comportamiento del sistema con respecto a las fluctuaciones en la emisión de amoniaco horarias ni diarias. Al conocer dichas fluctuaciones, es posible obtener las concentraciones de amoniaco “reales” que son percibidas y captadas en el ambiente.

Los valores obtenidos de la concentración de ión amonio en a columna de agua fueron validados al compararlos con las concentraciones obtenidas por ANAM para las mismas estaciones, donde se observó un rango de concentraciones similares.

Mediante la comparación de los datos obtenidos, tanto en la columna de agua como en la atmósfera, en este trabajo y en otros realizados en la misma zona de estudio, se puede concluir los valores son aceptables para ambos componentes.

Perspectivas de Gestión ambiental

Etapas posteriores en el tratamiento de las Aguas del río Mapocho incrementarían los costos económicos y energéticos de la planta La Farfana. Por esta razón, es necesario estudiar otras alternativas para la eliminación de ión amonio que describen a continuación:

- Uso en una primera etapa de bacterias nitrificantes que transforman el ión amonio en nitrato⁻, luego en una segunda etapa, bacterias desnitrificantes que convierten el nitrato en Nitrógeno elemental, sin embargo una desventaja es que se debe tener un especial control en el crecimiento de las bacterias.
- Hacer pasar el efluente, procedente del tratamiento secundario, a través de un humedal o wetland, donde se realiza la filtración natural de nitratos y fosfatos. Este procedimiento ha sido probado en países desarrollados con buenos resultados.
- Pretratamiento para la remoción de amonio mediante el uso de zeolitas (Swett y col, 1994).

Se recomienda realizar un chequeo al trabajo "Monitoreo Pasivo de Amoniaco en la Región Metropolitana" (Koutrakis, 1998), que fue realizado para la CONAMA, debido a que constituye una base de información errada a nuestro juicio.

REFERENCIAS

- ALLAN J.D. 1995. Stream Ecology Structure and function of running waters. School of natural Resources and Environment, University of Michigan, USA. Chapman y Hall
- ANEJA, P, YONGXIAN LI, J. WALKER AND J.P. CHAUHAN. 1997. "Atmospheric Ammonia/ Nitrogen Compounds Emissions and Characterization". Proceedings from Workshop on Atmospheric Nitrogen Compounds.
- ASMANN W.A.H, PINKSTERBOER E.F, MAAS H.F.M, ERISMAN J. W, HOST T.W. 1989. Gradients of the ammonia concentration in a nature reserve: model results and measurements. Atmospheric Environm. 23, 2259-2265.
- AYALA, CABRERA Y ASOCIADOS. 2000. Modelo de Simulación Hidrológico Operacional, Cuencas de los ríos Maipo y Mapocho. Tomos I y IV. Ministerio de Obras Públicas, Departamento de Estudios y Planificación.
- BARBIERI P.A, ECHEVERRÍA H.E. 2003. Evaluación de las pérdidas de amoníaco desde urea aplicada en otoño y primavera a una pastura de agropiro alargado (*Thinopyrum ponticum*). RIA, 32 (1), 17-29. INTA, Argentina.
- BATES R. G. Y PINCHING G. D. 1950. Dissociation Constant of Aqueous Ammonia at 0 to 50° from E. m. f. Studies of the Ammonium Salt of a Weak Acid.
- BROWN R. H Y WOENENBERG M. L. 1989. Gas and Vapor Sample Collectors. Hering, S.V. (ed.) Air Sampling Instruments, 7th ed. American Conference of Governmental Industrial Hygienist, Inc., Cincinnati, OH.
- CONAF Y MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS. 1995. Plan de Ordenamiento y Programa de Manejo cuenca río Maipo. Informe Principal.
- CONAMA R.M. 2003. Agua: Calidad y Contaminación Región Metropolitana. Área de Ordenamiento Territorial y Recursos Naturales.
- CONAMA R.M. 2004. Agua. Calidad y contaminación. Región Metropolitana. CONAMA RM. Gobierno de Chile.
- CONTRERAS M, SEREY I, MARIN V. 2003. Impacto de la Planta de Tratamiento La Farfana en la Restauración del Río Mapocho: caracterización ecosistémica. Santiago, Universidad de Chile, 77p.
- COULSON J. M. RICHARDSON J. F. Chemical Engineering, Vol. 1. 1954. Pergamon Press, Oxford, England , 239 pp.
- DEAN J.A, WILLIARD H.A, MERRIT L.L. 1986. Instrumental Methods of Análisis. Van Nostrand. New York.
- DASGUPTA, P. DONG, S. 1986. Atmos. Environ. 20, 556-570.
- DGA. 2003. Informe Técnico. Evaluación de los recursos hídricos superficiales en la cuenca del río Maipú. Departamento de administración de recursos hídricos, Santiago.

DICKERSON R. 2003. The Atmospheric Chemistry and Physics of Ammonia. National Atmospheric Deposition Program Ammonia workshop.

DONALDSON D.J. 1999. Adsorption of atmospheric gases at the air-water interface. I. NH₃. J. Phys. Chem. A. 103, 62-70.

DE VISSCHER A, L HARPER, P. W. WESTERMAN, LIANG, J. AROGO, R. R. SHARPE, O. VAN CLEEMPUT. 2001. ammonia Emissions from anaerobic Swine lagoons: Model Development. Journal of Applied meteorology 41: 426-433.

ERISMAN J.W, VERMETTEN A.W.M, ASMAN W.A, SLANINA J, WAIJERS-LJPELAAN. 1998. Vertical Distribution of gases and aerosols: the behaviour of ammonia and related components in the lower atmosphere. Atmospheric Environm. 22, 1153-1160.

GARCÉS J.A, BASCUR M, ARATE P, URZÚA C, FLORES E. 2001. Estudio de Impacto ambiental Planta de Tratamiento de Aguas Servidas La Farfana. XIV Congreso de Ingeniería Sanitaria y Ambiental AIDIS-CHILE.

HWANG C.J, SCLINENTI M.J, KRASNER S.W. 2000. In Natural Organic Matter and Disinfection By- Products; Barret S.E, Krasner S.W, Amy G.L Eds. ACS Symposium Series 761. American Chemical Society, Washington DC, pp 173-187.

IBE K.M Y PAT. U. OGBANEN. 1999. Impacts of Human activities on groundwater quality of an alluvial aquifer: a case study of the Wani River, Delta State, SW Nigeria. International Journal of Environmental Health Research. 9, 329-334.

KIRCHNER M, BRAEUTIGAM S, FERM M, HAAS M, HANGARTNER M, HOFSCHEIDER P, KASPER-GIEBL A, ROMMELT H, STRIEDNER J, TERZER W, THONI L, WERNER H AND ZIMMERLING R. 1999. Journal Environmental Monitoring, 1, 259-265.

KOUTRAKIS P.1998. Análisis Químico del material particulado orgánico en la región Metropolitana de Santiago. Informe Final para CONAMA RM.

LEWANDOWSKA A. Y FALKOWSKA L. 2004. Ammonia and ammonium over the southern Baltic sea. Part 1. Preparation of aerosol and air samples for the determination of ammonia by the indophenol method. Oceanología 46 (2), 175-184.

LIARD R, ZUREIK M, LE MOULLEC Y, SOUSSAN D, GLORIAN M, GRIMFELD A Y NEUKIRCH F. 1999. Environmental Research, 81, 339-348.

LOGAN B. E. Environmental Transport Processes. 1999. 1st ed. John Wiley & Sons, New York , 654 pp.

MANAHAN, STANLEY E. 2000. Environment Chemistry. 7th ed. Lewis Publishers. USA,

MARTINEZ, A.P Y ROMILU, I.1997. Introducción al monitoreo atmosférico. Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud

MENDENHALL W, SINCICH T.1997. Probabilidad y estadística para Ingeniería y Ciencias. 4^{ta} ed. Prentice-Hall.

- MORALES G.E. 2004. Contaminación Atmosférica urbana por aerosoles secundarios en la ciudad de Santiago. XXV Jornadas Chilenas de Química.
- MOREL F Y JANET G HG. 1993. Principles and applications of aquatic chemistry. John Willey, New York.
- MOUNT G, RUMBURG B, LAMB B, HAVIG J, WESTBERG H. 2001 . DOAS Measurement of atmospheric ammonia emissions at a dairy. Washington State University.
- PERALTA C. 2003. Unidad de Investigación: Caracterización del pH en el río Mapocho. Análisis Comparativo. Facultad de Ciencias.
- OYARZÚN C.E, GODOY R, LEIVA S. 2002. Depositación atmosférica de N en un transecto Valle longitudinal-cordillera de Los Andes centro-sur de Chile. Revista Chilena de Historia Natural 75:233-243.
- RANDOLPH K. LARSEN, III, JOSEPH C. STEINBACHER Y JOEL E. BAKER. 2001. Ammonia Exchange between the Atmosphere and the Surface Waters at two locations in the Chesapeake Bay. Environ.Sci.Technol., 35, 4731-4738
- RÍOS M.A. 2004. Caracterización de material particulado fino de origen urbano. Seminario de Título, Universidad de Chile.
- SARALEGNI J.A. 2002. Modelo de simulación de los efectos en salud producidos por la contaminación atmosférica en la Región Metropolitana. Universidad de Santiago de Chile, Facultad de Ingeniería.
- SEINFELD J. SPYROS H. PANDIS N. 1998. Atmospheric Chemistry and physics: from air pollution to climate change. John Willey, New York.
- SCHLESINGER W.H. 1997. Biogeochemistry: an analysis of global change. Academic Press.
- SHELLEY T. J. The Development And Application Of Tungsten Oxide Surfaces For The Preconcentration Of Ammonia And Nitric Acid In Air. 1986. Department of Chemistry. University of South Florida, Tampa, pp. 159.
- SHI Q, DAVIDOVITS P , JAYNE J.T, WORSNOP D.R Y KOLB C.E. 1999. Uptake of gas-phase ammonia.1. Uptake by aqueous surfaces as a function of pH. J. Phys. Chem. A 103, 8812-8823.
- SKOOG D.A Y LEARY J.J .1997. Análisis Instrumental. 4^{ta} ed. McGraw-Hill.
- SPIRO G.T, STIGLIANI W.M. 2004. Química Medioambiental. Pearson Educación.
- STANDARD METHODS. 1998. Examination of Water and Wastewater . 20th ed. American Public Health Association, Washington DC.
- STEVENSON E.J. 1994. Humus Chemistry. 2nd ed. Wiley & Sons, New York.

SVENSSON L. 1994. A new dynamic chamber Technique for Measuring Ammonia Emission from Land-spread Manure and Fertilizers. *Acta Agric. Sect. B. Soil and Plant Sci.*, 44, 35-46.

SWETT C.Y CAUGHEY M. 2003. Atmospheric ammonia and related compounds in the Midwest. Illinois State Water Survey.

TATE P. 2002. Ammonia Sampling using OGAWA passive samplers. Tesis Master en Ciencias. University of South Florida ,pp: 4-17; 23-28; 38-39.

USAMA M. SHAHIN XIANG ZHU Y THOMAS M. LOSEN.1999. Dry deposition of reduced and reactive nitrogen: a surrogate surfaces approach. *Environ. Sci. Technol.* 33, 2113-2117.

VAN LOON G.W, DUFFY S.J. *Environmental Chemistry. A Global Pespective.*2000. Oxford University Press.

VARNS J. L, MULIK J. D, SATHER M. E, GLEN G, SMITH L Y STALLINGS C.2001. *Environmental Science & Technology*, 35, 845-855.

WEAST R.C, ASTLE M, BEYER W.H. 1988. *CRC Handbook of Chemistry and physics a ready-reference book of chemicals and physical data.* Boca Raton: CRC Press.

WEBSTER J.R, PATTEN B.C. 1979. *Ecol. Monogr.* 49:51-72.

WEIER, K.D, GILLIAM, J.W. 1986. Effect of acidity on denitrification and nitrous oxide evolution from Atlantic Coastal Plain soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 50: 1202-1205.

WHITTEN K.W, DAVIES R.E, PECK L 1998. *Química General.* Mc Graw Hill.

WETZEL R. G Y W.B SOUNDERS.1983. *Limnology.* 2nd ed. Philadelphia, Saunders College Publishing.

ZAMORANO R. G. 1999. Evaluación de la Contaminación de las aguas superficiales del sistema Maipo-Mapocho a través de un modelo de simulación de calidad de aguas. Memoria de Título, Facultad de Ingeniería.

ANEXOS

ANEXO A

Valores de concentración de NH₃ atmosférico, medidas mediante tubos pasivos, Concentración de NH₄⁺ y variables fisicoquímicas medida en la columna de agua

Tabla 24. Concentración de NH₃ atmosférico capturada por filtro.

Fecha muestreo	MUESTRA	TIEMPO hr	NH4 - ppm	NH4 -ug	ppb - hr NH3	ppb - hr NH ₃ neto	ppb NH3	
23-08-04	F10L2308	167,32	0,1565	0,4695	543,68	189,76	1,13	
	F11L2308	167,32	0,2282	0,6846	792,76	438,84	2,62	
	F20L2308	167,32	0,1389	0,4167	482,54	128,62	0,77	
	F21L2308	167,32	0,2345	0,7035	814,65	460,73	2,75	
	F30P2308	167,33	0,2873	0,8619	998,07	644,15	3,85	
	F31P2308	167,33	0,3605	1,0815	1252,37	898,45	5,37	
	F40P2308	167,33	1,3575	4,0725	4715,93	4362,01	26,07	
	F41P2308	167,33	0,2873	0,8619	998,07	644,15	3,85	
	F50F2308	167,03	0,2521	0,7563	875,79	521,87	3,12	
	F51F2308	167,03	0,3121	0,9363	1084,23	730,31	4,37	
	F60F2308	167,03	0,3263	0,9789	1133,56	779,64	4,67	
	F61F2308	167,03	0,2065	0,6195	717,38	363,46	2,18	
	30-08-04	F10L3008	168,17	0,6458	1,2916	1495,66	1141,74	6,79
		F11L3008	168,17	0,634	1,268	1468,34	1114,42	6,63
F20L3008		168,17	0,4408	0,8816	1020,89	666,97	3,97	
F20L3008		168,17	0,446	0,892	1032,93	679,01	4,04	
F30P3008		168,47	0,629	1,258	1456,76	1102,84	6,55	
F31P3008		168,47	0,781	1,562	1808,79	1454,87	8,64	
F40P3008		168,47	1,475	2,95	3416,08	3062,16	18,18	

	F41P3008	168,47	0,7994	1,5988	1851,40	1497,48	8,89
	F50F3008	168,75	1,0214	2,0428	2365,55	2011,63	11,92
	F51F3008	168,75	0,9016	1,8032	2088,09	1734,17	10,28
	F60F3008	168,75	0,9024	1,8048	2089,95	1736,03	10,29
	F61F3008	168,75	0,8422	1,6844	1950,52	1596,60	9,46
	F70R3008	168,68	0,8538	1,7076	1977,39	1623,47	9,62
	F71R3008	168,68	0,7918	1,5836	1833,80	1479,88	8,77
	F80R3008	168,68	0,882	1,764	2042,70	1688,78	10,01
	F81R3008	168,68	0,9132	1,8264	2114,96	1761,04	10,44
06-09-04	F10L0609	167,4	0,5836	1,1672	1351,61	997,69	5,96
	F11L0609	167,4	0,5896	1,1792	1365,51	1011,59	6,04
	F20L0609	167,4	0,5382	1,0764	1246,46	892,54	5,33
	F21L0609	167,4	0,428	0,856	991,24	637,32	3,81
	F30P0609	167,7	0,834	1,668	1931,53	1577,61	9,41
	F31P0609	167,7	0,6618	1,3236	1532,72	1178,80	7,03
	F40P0609	167,7	0,639	1,278	1479,92	1126,00	6,71
	F41P0609	167,7	0,7808	1,5616	1808,32	1454,40	8,67
	F50F0609	167,7	0,467	0,934	1081,57	727,65	4,34
	F60F0609	167,7	0,576	1,152	1334,01	980,09	5,84
	F61F0609	167,7	0,5494	1,0988	1272,40	918,48	5,48
	F70R0609	168,8	0,5334	1,0668	1235,35	881,43	5,22
	F71R0609	168,8	0,6394	1,2788	1480,84	1126,92	6,68
	F80R0609	168,85	0,6638	1,3276	1537,35	1183,43	7,01
	F81R0609	168,85	0,5178	1,0356	1199,22	845,30	5,01
20-09-04	F10L2009	168,1	0,3722	0,7444	862,01	508,09	3,02
	F11L2009	168,1	0,4288	0,8576	993,10	639,18	3,80
	F20L2009	168,1	0,391	0,782	905,55	551,63	3,28
	F21L2009	168,1	0,4136	0,8272	957,89	603,97	3,59
	F30P2009	168,05	0,482	0,964	1116,31	762,39	4,54
	F31P2009	168,05	0,4318	0,8636	1000,04	646,12	3,84

	F40P2009	168,05	0,5112	1,0224	1183,93	830,01	4,94
	F41P2009	168,05	0,6344	1,2688	1469,26	1115,34	6,64
	F50F2009	168,08	0,3608	0,7216	835,61	481,69	2,87
	F51F2009	168,08	0,4414	0,8828	1022,28	668,36	3,98
	F60F2009	168,08	0,2752	0,5504	637,36	283,44	1,69
	F61F2009	168,08	0,4562	0,9124	1056,55	702,63	4,18
	F70R2009	168,03	0,6238	1,2476	1444,71	1090,79	6,49
	F71R2009	168,03	0,546	1,092	1264,53	910,61	5,42
	F80R2009	168,03	0,5788	1,1576	1340,49	986,57	5,87
	F81R2009	168,03	0,686	1,372	1588,77	1234,85	7,35
04-10-04	F10L0410	334	0,659	1,318	1526,24	1172,32	3,51
	F11L0410	334	0,7032	1,4064	1628,60	1274,68	3,82
	F20L0410	334	0,7926	1,5852	1835,65	1481,73	4,44
	F21L0410	334	0,5872	1,1744	1359,95	1006,03	3,01
	F30P0410	334	1,0184	2,0368	2358,60	2004,68	6,00
	F31P0410	334	1,0568	2,1136	2447,54	2093,62	6,27
	F40P0410	334	0,9438	1,8876	2185,83	1831,91	5,48
	F41P0410	334	1,1936	2,3872	2764,36	2410,44	7,22
	F50F0410	334	1,0004	2,0008	2316,91	1962,99	5,88
	F51F0410	334	0,8348	1,6696	1933,39	1579,47	4,73
	F60F0410	334	0,8024	1,6048	1858,35	1504,43	4,50
	F61F0410	334	1,163	2,326	2693,49	2339,57	7,00
	F70R0410	334	1,0122	2,0244	2344,24	1990,32	5,96
	F71R0410	334	0,8548	1,7096	1979,71	1625,79	4,87
	F80R0410	334	0,8488	1,6976	1965,81	1611,89	4,83
	F81R0410	334	0,8084	1,6168	1872,24	1518,32	4,55

Tabla 25. Concentración de NH₃ en blancos de filtros de tubos pasivos. *Los valores tachados corresponden a los blancos que fueron eliminados según el criterio: menor a límite de detección o mayor a 3 veces la desviación estándar total de los blancos.

Fecha	Código	Concentración Ambiental de NH ₃ ppm	Incluido factor de CELDA ppm	ug	ppb - hr NH ₃
23/08/04	B1 2308	0,0816	0,0816	0,2448	283,48
	B2 2308	1,042	1,042	3,126	3619,89
	B3 2308	0,1061	0,1061	0,3183	368,59
	B4 2308	0,0995	0,0995	0,2985	345,66
	B5 2308	0,0078	0,0078	0,0234	27,40
	B6 2308	0,2423	0,0719	0,2157	368,59
	B7 2308	0,4408	0,2423	0,7269	345,66
30/08/04	B13008	0,2212	0,1106	0,2212	345,66
	B23008	0,0956	0,0478	0,0956	368,59
	B33008	0,1558	0,0779	0,1558	345,66
	B43008	0,183	0,0915	0,183	368,59
06/09/04	B10609	0,2786	0,1393	0,2786	368,59
	B20609	0,2872	0,1436	0,2872	345,66
	B30609	0,1794	0,0817	0,1634	368,59
20/09/04	B12009	0,2936	0,2922	0,5844	368,59
	B22009	0,191	0,191	0,382	345,66
	B32009	0,1456	0,1456	0,2912	368,59
	B42009	0,2174	0,2174	0,4348	345,66
04/10/04	B10410	0,3482	0,3482	0,6964	345,66
	B20410	0,2346	0,2346	0,4692	368,59
	B30410	0,222	0,222	0,444	345,66
			desviación estándar 0,2081		
			3x desviación estándar 0,6242		

Figura 30

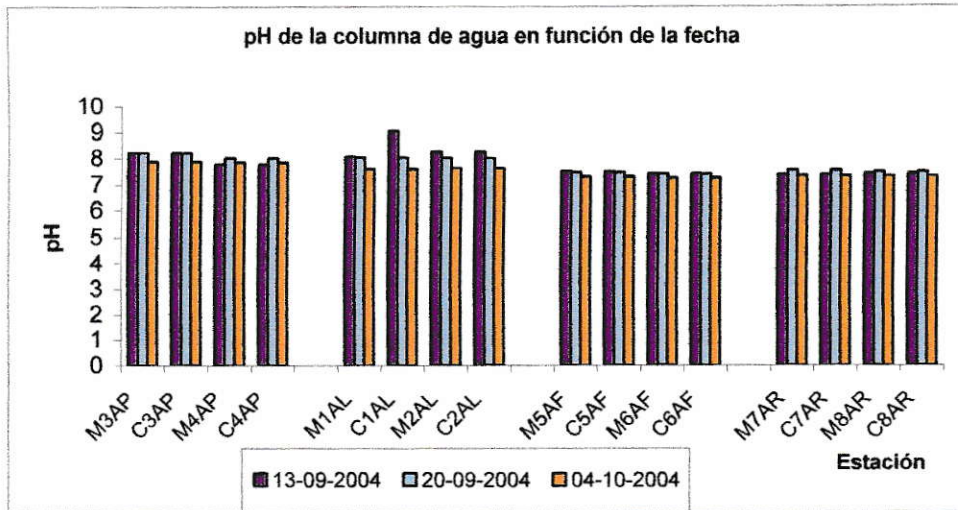


Figura 31

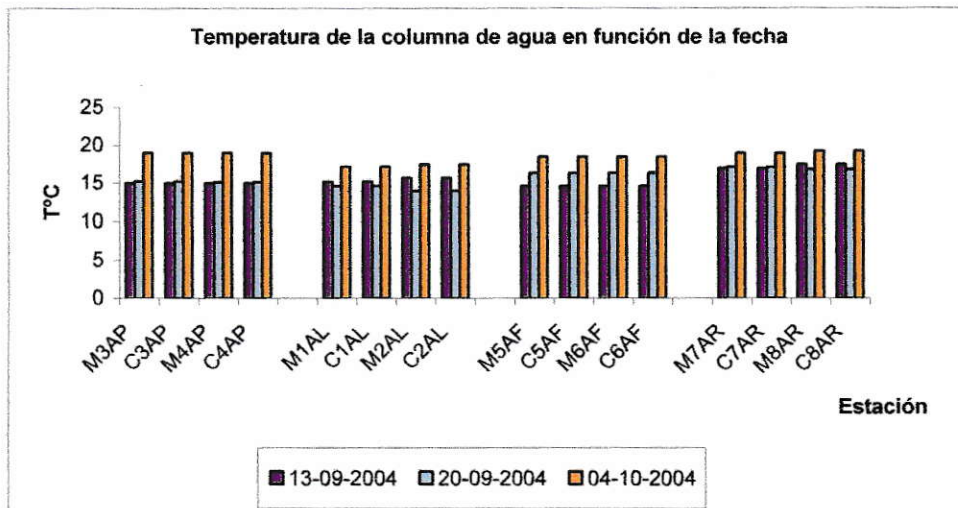
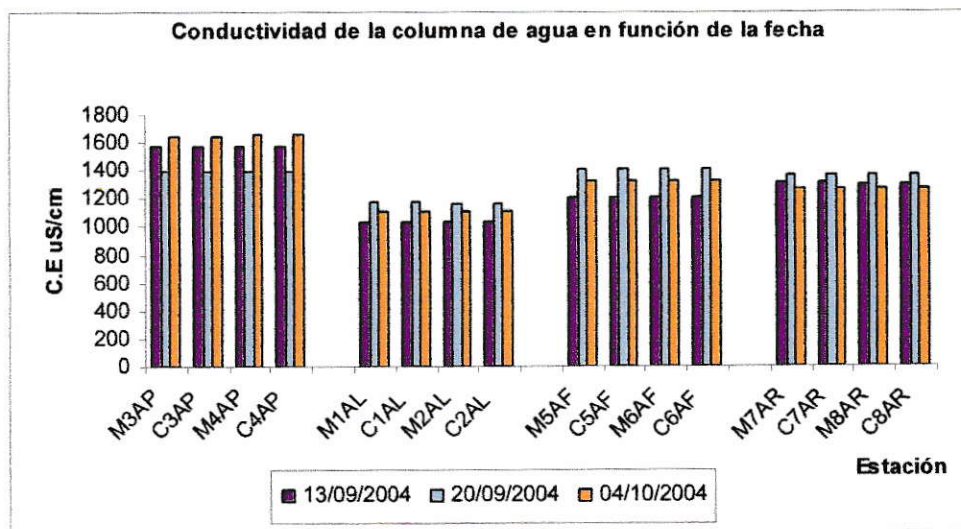


Figura 32



ANEXO B

Concentraciones analíticas de la columna de agua, cálculo de la constante de equilibrio según las condiciones del sistema y estimación de NH₃ presente en la columna de agua mediante el uso de la constante de Henry.]

Tabla 26. Concentración analítica de NH₄⁺ en la columna de agua.

Código	Fecha	Hora	Concentración. NH ₄ ⁺ analítica mg/L	Concentración NH ₄ ⁺ analítica neta mg/L o ug/m3	Concentración NH ₄ ⁺ analítica mol/L	Concentración NH ₄ ⁺ analítica mol/m3	pH
M1AL1309	13-09-04	11:30	0,5268	0,4808	2,67E-05	0,0267	8,09
C1AL1309	13-09-04	11:30	1,0622	1,0162	5,65E-05	0,0565	9,09
M2AL1309	13-09-04	11:31	0,5600	0,5140	2,86E-05	0,0286	8,3
C2AL1309	13-09-04	11:31	1,0232	0,9772	5,43E-05	0,0543	8,3
M3AP1309	13-09-04	12:00	0,2342	0,1882	1,05E-05	0,0105	8,22
C3AP1309	13-09-04	12:00	0,2340	0,1880	1,04E-05	0,0104	8,22
M4AP1309	13-09-04	12:05	0,2472	0,2012	1,12E-05	0,0112	7,79
C4AP1309	13-09-04	12:05	0,1486	0,1026	5,70E-06	0,0057	7,79
M5AF1309	13-09-04	12:50	4,1620	4,1160	2,29E-04	0,2287	7,54
C5AF1309	13-09-04	12:50	4,2918	4,2458	2,36E-04	0,2359	7,54
M6AF1309	13-09-04	12:53	5,7854	5,7394	3,19E-04	0,3189	7,46
C6AF1309	13-09-04	12:53	5,2836	5,2376	2,91E-04	0,2910	7,46
M7AR1309	13-09-04	13:15	5,1966	5,1506	2,86E-04	0,2861	7,45
C7AR1309	13-09-04	13:15	5,5422	5,4962	3,05E-04	0,3053	7,45
M8AR1309	13-09-04	13:20	3,5266	3,4806	1,93E-04	0,1934	7,5
C8AR1309	13-09-04	13:20	3,6386	3,5926	2,00E-04	0,1996	7,5
M1AL2009	20-09-04	10:55	2,2212	2,1754	1,21E-04	0,1209	8,06
C1AL2009	20-09-04	10:55	2,0878	2,0420	1,13E-04	0,1134	8,06
M2AL2009	20-09-04	10:58	0,8606	0,8148	4,53E-05	0,0453	8,05
C2AL2009	20-09-04	11:58	1,2650	1,2192	6,77E-05	0,0677	8,05
M3AP2009	20-09-04	11:45	0,2138	0,1680	9,33E-06	0,0093	8,22
C3AP2009	20-09-04	11:45	0,1558	0,1100	6,11E-06	0,0061	8,22
M4AP2009	20-09-04	11:49	0,2094	0,1636	9,09E-06	0,0091	8,02

C4AP2009	20-09-04	11:49	0,2460	0,2002	1,11E-05	0,0111	8,02
M5AF2009	20-09-04	12:30	5,9710	5,9252	3,29E-04	0,3292	7,5
C5AF2009	20-09-04	12:30	5,8524	5,8066	3,23E-04	0,3226	7,5
M6AF2009	20-09-04	12:35	5,9330	5,8872	3,27E-04	0,3271	7,44
C6AF2009	20-09-04	12:35	5,9754	5,9296	3,29E-04	0,3294	7,44
M7AR2009	20-09-04	13:40	6,0438	5,9980	3,33E-04	0,3332	7,62
C7AR2009	20-09-04	13:40	4,5840	4,5382	2,52E-04	0,2521	7,62
M8AR2009	20-09-04	13:44	5,8842	5,8384	3,24E-04	0,3244	7,56
C8AR2009	20-09-04	13:44	5,6252	5,5794	3,10E-04	0,3100	7,56
M1AL0410	04-10-04	11:02	0,6492	0,6022	3,35E-05	0,0335	7,62
C1AL0410	04-10-04	11:02	0,8850	0,8380	4,66E-05	0,0466	7,62
M2AL0410	04-10-04	11:05	0,7670	0,7200	4,00E-05	0,0400	7,67
C2AL0410	04-10-04	11:05	0,9494	0,9024	5,01E-05	0,0501	7,67
M3AP0410	04-10-04	11:50	0,3140	0,2670	1,48E-05	0,0148	7,89
C3AP0410	04-10-04	11:50	0,3154	0,2684	1,49E-05	0,0149	7,89
M4AP0410	04-10-04	11:52	0,2966	0,2496	1,39E-05	0,0139	7,86
C4AP0410	04-10-04	11:52	0,2034	0,1564	8,69E-06	0,0087	7,86
M5AF0410	04-10-04	12:35	5,2356	5,1886	2,88E-04	0,2883	7,34
C5AF0410	04-10-04	12:35	5,5850	5,5380	3,08E-04	0,3077	7,34
M6AF0410	04-10-04	12:37	3,7576	3,7106	2,06E-04	0,2061	7,31
C6AF0410	04-10-04	12:37	4,0212	3,9742	2,21E-04	0,2208	7,31
M7AR0410	04-10-04	13:42	4,7480	4,7010	2,61E-04	0,2612	7,39
C7AR0410	04-10-04	13:42	5,3130	5,2660	2,93E-04	0,2926	7,39
M8AR0410	04-10-04	13:47	3,2540	3,2070	1,78E-04	0,1782	7,39
C8AR0410	04-10-04	13:47	3,4012	3,3542	1,86E-04	0,1863	7,39

Tabla 27. Temperatura, conductividad y K_b estimado de muestras de agua por estación.

Fecha	Código	T °C	Conductividad uS/ cm	T° K	pKa	pKb	Kb estimado
13/09/04	M1AL1309	15,2	1036	288,2	9,56	4,44	3,63E-05
	C1AL1309	15,2	1036	288,2	9,56	4,44	3,63E-05
	M2AL1309	15,7	1030	288,7	9,54	4,45	3,55E-05
	C2AL1309	15,7	1030	288,7	9,54	4,45	3,55E-05
	M3AP1309	15	1575	288	9,57	4,43	3,71E-05
	C3AP1309	15	1575	288	9,57	4,43	3,71E-05
	M4AP1309	15	1578	288	9,57	4,43	3,71E-05
	C4AP1309	15	1578	288	9,57	4,43	3,71E-05
	M5AF1309	14,6	1211	287,6	9,58	4,42	3,80E-05
	C5AF1309	14,6	1211	287,6	9,58	4,42	3,80E-05
	M6AF1309	14,6	1210	287,6	9,58	4,42	3,80E-05
	C6AF1309	14,6	1210	287,6	9,58	4,42	3,80E-05
	M7AR1309	17	1310	290	9,50	4,5	3,02E-05
	C7AR1309	17	1310	290	9,50	4,5	3,02E-05
	M8AR1309	17,5	1290	290,5	9,48	4,52	3,09E-05
	C8AR1309	17,5	1290	290,5	9,48	4,52	3,09E-05
20/09/04	M1AL2009	14,6	1175	287,6	9,58	4,42	3,80E-05
	C1AL2009	14,6	1175	287,6	9,58	4,42	3,80E-05
	M2AL2009	14	1164	287	9,60	4,4	3,63E-05
	C2AL2009	14	1164	287	9,60	4,4	3,63E-05
	M3AP2009	15,2	1395	288,2	9,56	4,44	3,63E-05
	C3AP2009	15,2	1395	288,2	9,56	4,44	3,63E-05
	M4AP2009	15,1	1395	288,1	9,56	4,44	3,71E-05

	C4AP2009	15,1	1395	288,1	9,56	4,44	3,71E-05
	M5AF2009	16,3	1409	289,3	9,52	4,48	3,39E-05
	C5AF2009	16,3	1409	289,3	9,52	4,48	3,39E-05
	M6AF2009	16,3	1407	289,3	9,52	4,48	3,39E-05
	C6AF2009	16,3	1407	289,3	9,52	4,48	3,39E-05
	M7AR2009	17,1	1355	290,1	9,50	4,5	3,16E-05
	C7AR2009	17,1	1355	290,1	9,50	4,5	3,16E-05
	M8AR2009	16,8	1356	289,8	9,51	4,49	3,24E-05
	C8AR2009	16,8	1356	289,8	9,51	4,49	3,24E-05
04/10/04	M1AL0410	17,2	1100	290,2	9,49	4,51	3,16E-05
	C1AL0410	17,2	1100	290,2	9,49	4,51	3,16E-05
	M2AL0410	17,5	1100	290,5	9,48	4,52	3,09E-05
	C2AL0410	17,5	1100	290,5	9,48	4,52	3,09E-05
	M3AP0410	19	1651	292	9,44	4,56	2,75E-05
	C3AP0410	19	1651	292	9,44	4,56	2,75E-05
	M4AP0410	19	1652	292	9,44	4,56	2,75E-05
	C4AP0410	19	1652	292	9,44	4,56	2,75E-05
	M5AF0410	18,5	1312	291,5	9,45	4,55	2,88E-05
	C5AF0410	18,5	1312	291,5	9,45	4,55	2,88E-05
	M6AF0410	18,5	1319	291,5	9,45	4,55	2,88E-05
	C6AF0410	18,5	1319	291,5	9,45	4,55	2,88E-05
	M7AR0410	19	1263	292	9,44	4,56	2,75E-05
	C7AR0410	19	1263	292	9,44	4,56	2,75E-05
	M8AR0410	19,3	1261	292,3	9,43	4,57	2,69E-05
	C8AR0410	19,3	1261	292,3	9,43	4,57	2,69E-05

Tabla 28. Concentraciones de ión amonio en blancos de muestras de agua por fecha de muestreo.

Fecha	Concentración de ión amonio mg/ L
30-08-04	0,0666
06-09-04	0,0466
13-09-04	0,046
20-09-04	0,0458
04-10-04	0,047

Tabla 29. Concentración de NH₃ estimada a partir de k_b y pH del sistema. (columna de agua)

Código	Concentración NH ₄ ⁺ analítica agua mol/L	pH	pOH	[OH]	Kb	Conc. NH ₃ agua (teórica) mol/L	Conc. NH ₃ agua (teórica) ug/m ³
M1AL1309	1,46E-05	8,09	5,91	1,23E-06	3,63E-05	4,80E-07	0,0082
C1AL1309	2,95E-05	9,09	4,91	1,23E-05	3,63E-05	7,47E-06	0,1269
M2AL1309	1,56E-05	8,3	5,7	2,00E-06	3,55E-05	8,30E-07	0,0141
C2AL1309	2,84E-05	8,3	5,7	2,00E-06	3,55E-05	1,52E-06	0,0258
M3AP1309	6,51E-06	8,22	5,78	1,66E-06	3,71E-05	2,79E-07	0,0047
C3AP1309	6,54E-06	8,22	5,78	1,66E-06	3,71E-05	2,80E-07	0,0048
M4AP1309	7,69E-06	7,79	6,21	6,16E-07	3,71E-05	1,26E-07	0,0021
C4AP1309	5,14E-06	7,79	6,21	6,16E-07	3,71E-05	8,40E-08	0,0014
M5AF1309	1,09E-04	7,54	6,46	3,47E-07	3,80E-05	9,85E-07	0,0167
C5AF1309	1,12E-04	7,54	6,46	3,47E-07	3,80E-05	1,02E-06	0,0173
M6AF1309	1,61E-04	7,46	6,54	2,88E-07	3,80E-05	1,21E-06	0,0205
C6AF1309	1,47E-04	7,46	6,54	2,88E-07	3,80E-05	1,10E-06	0,0188
M7AR1309	1,44E-04	7,45	6,55	2,82E-07	3,02E-05	1,34E-06	0,0227
C7AR1309	1,54E-04	7,45	6,55	2,82E-07	3,02E-05	1,42E-06	0,0242
M8AR1309	1,54E-04	7,5	6,5	3,16E-07	3,09E-05	1,55E-06	0,0264
C8AR1309	1,01E-04	7,5	6,5	3,16E-07	3,09E-05	1,02E-06	0,0174
M1AL2009	6,17E-05	8,06	5,94	1,15E-06	3,80E-05	1,81E-06	0,0308
C1AL2009	5,80E-05	8,06	5,94	1,15E-06	3,80E-05	1,70E-06	0,0290
M2AL2009	2,39E-05	8,05	5,95	1,12E-06	3,63E-05	7,16E-07	0,0122
C2AL2009	3,51E-05	8,05	5,95	1,12E-06	3,63E-05	1,05E-06	0,0179
M3AP2009	5,94E-06	8,22	5,78	1,66E-06	3,63E-05	2,60E-07	0,0044
C3AP2009	4,32E-06	8,22	5,78	1,66E-06	3,63E-05	1,89E-07	0,0032
M4AP2009	5,82E-06	8,02	5,98	1,05E-06	3,71E-05	1,60E-07	0,0027
C4AP2009	6,83E-06	8,02	5,98	1,05E-06	3,71E-05	1,88E-07	0,0032
M5AF2009	1,66E-04	7,5	6,5	3,16E-07	3,39E-05	1,53E-06	0,0260
C5AF2009	1,63E-04	7,5	6,5	3,16E-07	3,39E-05	1,50E-06	0,0255
M6AF2009	1,65E-04	7,44	6,56	2,75E-07	3,39E-05	1,33E-06	0,0225
C6AF2009	1,66E-04	7,44	6,56	2,75E-07	3,39E-05	1,34E-06	0,0227

M7AR2009	1,68E-04	7,62	6,38	4,17E-07	3,16E-05	2,19E-06	0,0372
C7AR2009	1,27E-04	7,62	6,38	4,17E-07	3,16E-05	1,66E-06	0,0282
M8AR2009	1,63E-04	7,56	6,44	3,63E-07	3,24E-05	1,81E-06	0,0308
C8AR2009	1,56E-04	7,56	6,44	3,63E-07	3,24E-05	1,73E-06	0,0294
M1AL0410	1,80E-05	7,62	6,38	4,17E-07	3,16E-05	2,35E-07	0,0040
C1AL0410	2,46E-05	7,62	6,38	4,17E-07	3,16E-05	3,20E-07	0,0054
M2AL0410	2,13E-05	7,67	6,33	4,68E-07	3,09E-05	3,18E-07	0,0054
C2AL0410	2,64E-05	7,67	6,33	4,68E-07	3,09E-05	3,93E-07	0,0067
M3AP0410	8,72E-06	7,89	6,11	7,76E-07	2,75E-05	2,39E-07	0,0041
C3AP0410	8,76E-06	7,89	6,11	7,76E-07	2,75E-05	2,40E-07	0,0041
M4AP0410	8,24E-06	7,86	6,14	7,24E-07	2,75E-05	2,11E-07	0,0036
C4AP0410	5,65E-06	7,86	6,14	7,24E-07	2,75E-05	1,45E-07	0,0025
M5AF0410	1,45E-04	7,34	6,66	2,19E-07	2,88E-05	1,10E-06	0,0187
C5AF0410	1,55E-04	7,34	6,66	2,19E-07	2,88E-05	1,17E-06	0,0199
M6AF0410	1,04E-04	7,31	6,69	2,04E-07	2,88E-05	7,34E-07	0,0125
C6AF0410	1,12E-04	7,31	6,69	2,04E-07	2,88E-05	7,86E-07	0,0134
M7AR0410	1,32E-04	7,39	6,61	2,45E-07	2,75E-05	1,16E-06	0,0198
C7AR0410	1,48E-04	7,39	6,61	2,45E-07	2,75E-05	1,30E-06	0,0222
M8AR0410	9,04E-05	7,39	6,61	2,45E-07	2,69E-05	8,16E-07	0,0139
C8AR0410	9,45E-05	7,39	6,61	2,45E-07	2,69E-05	8,53E-07	0,0145

ANEXO C

Concentración de NH₃ atmosférico que es emitido desde la columna de agua, calculado a partir de la constante de Henry.

Tabla 30. Constante de Henry en función de la temperatura del sistema. Concentración de NH₃ calculada a partir de la constante de Henry.

Código	T° K	K _H atm m ³ /mol	K' _H	Concentración NH ₃ en la columna de agua ug/m ³	Concentración NH ₃ aire ug/m ³ (calculado)
M1AL1309	288,2	1,07E-05	4,52E-04	0,0082	3,7
C1AL1309	288,2	1,07E-05	4,52E-04	0,1269	57,4
M2AL1309	288,7	1,10E-05	4,64E-04	0,0141	6,5
C2AL1309	288,7	1,10E-05	4,64E-04	0,0258	12,0
M3AP1309	288	1,06E-05	4,49E-04	0,0047	2,1
C3AP1309	288	1,06E-05	4,49E-04	0,0048	2,1
M4AP1309	288	1,06E-05	4,49E-04	0,0021	1,0
C4AP1309	288	1,06E-05	4,49E-04	0,0014	0,6
M5AF1309	287,6	1,04E-05	4,41E-04	0,0167	7,4
C5AF1309	287,6	1,04E-05	4,41E-04	0,0173	7,6
M6AF1309	287,6	1,04E-05	4,41E-04	0,0205	9,1
C6AF1309	287,6	1,04E-05	4,41E-04	0,0188	8,3
M7AR1309	290	1,18E-05	4,96E-04	0,0227	11,3
C7AR1309	290	1,18E-05	4,96E-04	0,0242	12,0
M8AR1309	290,5	1,21E-05	5,08E-04	0,0264	13,4
C8AR1309	290,5	1,21E-05	5,08E-04	0,0174	8,8
M1AL2009	287,6	1,04E-05	4,41E-04	0,0308	13,6
C1AL2009	287,6	1,04E-05	4,41E-04	0,0290	12,8
M2AL2009	287	1,01E-05	4,29E-04	0,0122	5,2

C2AL2009	287	1,01E-05	4,29E-04	0,0179	7,7
M3AP2009	288,2	1,07E-05	4,52E-04	0,0044	2,0
C3AP2009	288,2	1,07E-05	4,52E-04	0,0032	1,5
M4AP2009	288,1	1,06E-05	4,48E-04	0,0027	1,2
C4AP2009	288,1	1,06E-05	4,48E-04	0,0032	1,4
M5AF2009	289,3	1,14E-05	4,80E-04	0,0260	12,5
C5AF2009	289,3	1,14E-05	4,80E-04	0,0255	12,3
M6AF2009	289,3	1,14E-05	4,80E-04	0,0225	10,8
C6AF2009	289,3	1,14E-05	4,80E-04	0,0227	10,9
M7AR2009	290,1	1,19E-05	5,00E-04	0,0372	18,6
C7AR2009	290,1	1,19E-05	5,00E-04	0,0282	14,1
M8AR2009	289,8	1,16E-05	4,88E-04	0,0308	15,0
C8AR2009	289,8	1,16E-05	4,88E-04	0,0294	14,4
M1AL0410	290,2	1,19E-05	5,00E-04	0,0040	2,0
C1AL0410	290,2	1,19E-05	5,00E-04	0,0054	2,7
M2AL0410	290,5	1,21E-05	5,08E-04	0,0054	2,7
C2AL0410	290,5	1,21E-05	5,08E-04	0,0067	3,4
M3AP0410	292	1,30E-05	5,43E-04	0,0041	2,2
C3AP0410	292	1,30E-05	5,43E-04	0,0041	2,2
M4AP0410	292	1,30E-05	5,43E-04	0,0036	1,9
C4AP0410	292	1,30E-05	5,43E-04	0,0025	1,3
M5AF0410	291,5	1,27E-05	5,31E-04	0,0187	9,9
C5AF0410	291,5	1,27E-05	5,31E-04	0,0199	10,6
M6AF0410	291,5	1,27E-05	5,31E-04	0,0125	6,6
C6AF0410	291,5	1,27E-05	5,31E-04	0,0134	7,1
M7AR0410	292	1,30E-05	5,43E-04	0,0198	10,7
C7AR0410	292	1,30E-05	5,43E-04	0,0222	12,0
M8AR0410	292,3	1,33E-05	5,54E-04	0,0139	7,7
C8AR0410	292,3	1,33E-05	5,54E-04	0,0145	8,0

ANEXO D

Orígenes de las distintas especies que participan en el ciclo del Nitrógeno

Amonio.

Origen:

-Aguas residuales industriales y agrícolas

-Aguas de lluvia (lluvia ácida)

-En presencia de hierro que pueden reducir a los iones nitratos.

-Descomposición de compuestos orgánicos nitrogenados.

-Putrefacción de plantas.

Efectos:

-Sabor desagradable.

-Dificulta la cloración.

-Otorga colores extraños al agua debido a que forma complejos.

Nitritos.

Pueden encontrarse por oxidación de NH_3 o por reducción de nitratos, impotabilizan el agua y pueden producir una consiguiente aparición de organismos patógenos.

Origen:

-Oxidación incompleta del amoníaco.

-Aguas de lluvia y fusión con nieve.

-RILES.

-Aguas pantanosas

-Contaminación por gasolina, la oxidación de ésta puede utilizar el oxígeno presente reduciendo los nitratos a nitritos.

-Oxidación incompleta del amoníaco empleado en procesos de desinfección.

-Puede formar nitrosaminas lo que presenta un riesgo para la salud debido a que se consideran sustancias cancerígenas.

Nitratos.

Esenciales para el crecimiento de plantas.

Origen:

-Pueden provenir raramente del material rocoso o por oxidación bacteriana de la materia orgánica.

-Actividad agrícola y ganadera.

-Vertidos domésticos e industriales.

Efectos:

-Formación de nitrosaminas.

-Son altamente solubles en agua, se desplazan fácilmente hasta cuerpos de agua causando eutroficación.

ANEXO E

Métodos de muestreo atmosférico.

El muestreo de contaminantes atmosféricos va unido a los objetivos del mismo, pudiéndose diferenciar tres tipos de muestreo:

- Muestreo continuo. Consiste en tomar muestras de forma continua a lo largo del año. Este muestreo continuo puede ser en tiempo real (en el caso de los analizadores automáticos) o en períodos de 24 horas o tiempos inferiores o superiores predefinidos.

- Muestreo periódico. Basado en un plan predefinido y consistente básicamente en:
 1. Muestreo por estaciones. Por ejemplo, un mes o dos semanas cada período estacional.

 2. Un día de cada ocho. Muy útil cuando hay limitaciones económicas o de recursos humanos. De esta manera, se tienen muestras representativas de todos los días del año.

 3. Muestreo puntual. Determinados días y horas.

La elección del método de análisis, y por tanto del muestreo, según lo referenciado anteriormente, se realizará de acuerdo a los objetivos, debiendo elegirse aquellos que los

cumplan de una forma sencilla. La utilización de equipos inapropiados, demasiado complejos o con fallas frecuentes podrían causar el fracaso del monitoreo.

Algunos de los parámetros a tener en cuenta son:

- Objetivos
- Tiempo de resolución requerido
- Consultas con otros usuarios
- Referencias a reglamentos legales y / o normas

Los tipos de muestreadores pueden ser clasificados en dos grandes grupos: continuos y discontinuos, dependiendo del lugar donde se realice el análisis de las muestras.

- Métodos continuos. Captación y análisis del contaminante en el punto de muestreo en forma continua y automática,
- Métodos discontinuos. Captación del contaminante en el punto de muestreo, luego se transporta a un laboratorio para su análisis.

Los muestreadores pasivos y activos corresponden a metodología discontinua, implicando el posterior análisis en el laboratorio, mientras que los analizadores automáticos y sensores remotos pertenecen a la metodología continua, proporcionando los datos en tiempo real. Estos cuatro tipos de técnicas son aplicables en la determinación de concentraciones de componentes ambientales, aunque en la actualidad, los más utilizadas son los muestreadores activos y los analizadores automáticos, estando los muestreadores pasivos en fase muy avanzada de consolidación.

La diferencia entre los muestreadores pasivos y activos radica en el procedimiento que utilizan para recolectar las muestras de aire, es así como en los pasivos el aire no se fuerza a pasar por el muestreador por medio de una bomba como sucede con los activos, el ingreso de la muestra se produce por difusión de los contaminantes a través de un filtro ubicado al interior del muestreador que contiene una solución adsorbente específica para el tipo de contaminante que se desea estudiar. Después del período de muestreo (generalmente semanas) se realiza una extracción y posterior análisis.

Tabla 31. Ventajas e inconvenientes de las técnicas de medida, de contaminantes atmosféricos.

Método	Ventajas	Inconvenientes
Muestreadores pasivos	<ul style="list-style-type: none"> - Muy bajo costo. - Muy sencillos. - Útiles para estudios de base. 	<ul style="list-style-type: none"> - No útiles para algunos contaminantes. - En general, dan medias mensuales y semanales.
Muestreadores activos	<ul style="list-style-type: none"> - Bajo costo. - Fácil de operar. - Operación segura. - Datos históricos. - Medias diarias. 	<ul style="list-style-type: none"> - Trabajo intensivo. - Requiere análisis en el laboratorio.
Analizadores automáticos	<ul style="list-style-type: none"> - Comprobados. - Altas características. - Datos horarios. - Información en tiempo real. 	<ul style="list-style-type: none"> - Complejos. - Costosos. - Requieren gran adiestramiento. - Costos elevados
Sensores remotos	<ul style="list-style-type: none"> - Dan datos en un determinado espacio. - Útil cerca de las fuentes. - Medidas de multicomponentes 	<ul style="list-style-type: none"> - Muy complejos. - Difíciles de operar, calibrar y validar. - No siempre comparables con medidas puntuales.

Requisitos de la captación para Métodos discontinuos

Para los métodos discontinuos, lo esencial es que llegue al laboratorio, el 100 % (o porcentaje conocido) del contaminante que existía en el aire muestreado.

Para una buena captación se requiere:

- Utilización de un colector de muestras, que es en general un filtro o una solución absorbente, para retener el material contaminante. La eficiencia real del colector se tiene que determinar experimentalmente de manera que el analista pueda calcular el peso verdadero o el volumen de contaminante, como si todo o el 100 % hubiese sido retenido. Muy pocos colectores de muestras, operan con un 100 % de eficiencia, aunque unos cuantos colectores dispuestos en serie se acercan a la colección de muestras perfectamente eficaz al combinar sus eficiencias. (Kirchner y col, 1999).

ANEXO F

Análisis Cualitativo

Para simplificar la observación y comparar entre estaciones por fecha de muestreo se construyeron tablas cualitativas.

Tabla 32. Comparación entre estaciones en la fecha 1

Estación	Lo Aguirre	Puente Pudahuel	La Farfana	Rinconada
Lo Aguirre	-----	Hay diferencia	No hay diferencia	No hay diferencia
Puente Pudahuel	Hay diferencia	-----	No hay diferencia	No hay diferencia
La Farfana	No hay diferencia	No hay diferencia	-----	No hay diferencia
Rinconada	No hay diferencia	No hay diferencia	No hay diferencia	-----

Por lo tanto, en la fecha 1, sólo se observa diferencia entre las estaciones Lo Aguirre- Puente Pudahuel.

Tabla 33. Comparación entre estaciones en la fecha 2

Estación	Lo Aguirre	Puente Pudahuel	La Farfana	Rinconada
Lo Aguirre	-----	No hay diferencia	No hay diferencia	Hay diferencia
Puente Pudahuel	No hay diferencia	-----	Hay diferencia	No hay diferencia
La Farfana	No hay diferencia	Hay diferencia	-----	Hay diferencia
Rinconada	Hay diferencia	No hay diferencia	Hay diferencia	-----

De esta tabla se concluye que hay diferencias significativas entre las estaciones Puente Pudahuel y La Farfana, Lo Aguirre y Rinconada y Rinconada y La Farfana.

Para la fecha 3 la única diferencia significativa se observa entre las estaciones Lo

Aguirre y Puente Pudahuel.

Tabla 34. Comparación entre estaciones en la fecha 3.

Estación	Lo Aguirre	Puente Pudahuel	La Farfana	Rinconada
Lo Aguirre	-----	Hay diferencia	No hay diferencia	No hay diferencia
Puente Pudahuel	Hay diferencia	-----	No hay diferencia	No hay diferencia
La Farfana	No hay diferencia	No hay diferencia	-----	No hay diferencia
Rinconada	No hay diferencia	No hay diferencia	No hay diferencia	-----

ANEXO G

Ubicación de estaciones en Estudio de Impacto de la Planta de Tratamiento La Farfana

Figura 33. Ubicación de estaciones en Estudio de Impacto de la Planta de Tratamiento La Farfana en la restauración del río Mapocho (2003).



ANEXO H

Proposición de normas de calidad ambiental de aguas y Definición de clases de agua según su calidad

Tabla 35. Proposición de normas de calidad ambiental de aguas para proteger usos determinados (Zamorano, 1999).

Parámetro	Unidad	CLASE 1	CLASE 2	CLASE 3	CLASE 4
Temperatura	°C				
pH	unidad	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5	5,5-9,0
Conductividad Eléctrica	mS/cm	<750	<1500	<2250	
DBO ⁵	mg/L	<5	<10	<20	<30
DQO	mg/L				
Amonio	mg/L	1,0	1,5	5,0	

Tabla 36. Definición de clases de agua según su calidad, para proteger usos determinados incluida en la propuesta de nuevas normas de calidad ambiental de agua en Chile (Zamorano, 1999).

Clases de agua	Usos de agua posibles para clase
CLASE 1. "Agua sin contaminación"	Corresponde a un agua apta para todo uso, vale decir, protección de la comunidad acuática, acuicultura, pesca deportiva, captación para una planta de agua potable con tratamiento primario, recreación con y sin contacto directo, riego sin restricción, actividad industrial, bebida para animales y navegación.
CLASE 2. "Agua de buena calidad"	Corresponde a un agua apta para usos tales como: protección de la comunidad acuática (excepto reservas naturales, santuarios, etc.), acuicultura, pesca deportiva, captación para una planta de agua potable con tratamiento secundario, recreación sin contacto directo, riego con restricción, actividad industrial, bebida para animales y navegación.
CLASE 3. "Agua de calidad discreta"	Corresponde a un agua apta para usos tales como, captación para una planta de agua potable con tratamiento terciario, recreación sin contacto directo, riego con restricción, actividad industrial, bebida para animales y navegación.
CLASE 4. "Agua de calidad mediocre"	Corresponde a un agua apta para muy pocos usos, tales como, captación para una planta de agua potable con tratamiento avanzado, uso industrial y navegación.
CLASE 5. "Agua contaminada"	Corresponde a un agua no apta para ningún uso.

ANEXO I

Valores referenciales de concentración de NH₃ en ambientes de trabajo

Tabla 37. Normas de amoniaco para exposición en ambientes de trabajo.

Tipo de norma	Concentración de NH ₃
OSHA PEL TWA	50 ppm
ACGIH (Estados Unidos)	25 ppm
STEL	35 ppm
CAMP (Chile)	140 ppm

PEL: Límite de exposición permisible por OSHA.

TWA: Promedio de peso de exposición por 8 horas.

ACGIH: Organización Nacional de Higienistas Industriales.

STEL: Límite en aire de trabajo. (SIRES. 444/91) **CMP:** 25 ppm; **CPT:** 35 ppm.